

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO,**  
**GAS NATURAL Y PETROQUIMICA**



**“TECNICAS Y MEJORAS EN LAS MEDICIONES DE LOS REGISTROS DE  
SECTORIZACION DE ADHERENCIA DE CEMENTO (SBT)”**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE PETROLEO**

ELABORADO POR EL BACHILLER

JORGE ANIBAL ESPINOZA OKAMOTO

**PROMOCION 2007-2**

**LIMA – PERU**

**2009**

# INDICE

## **1.- INTRODUCCION**

## **2.-CONCEPTOS TEORICOS**

2.1 Registro de adherencia de Cemento (CBL)

2.2 Sistema de medición acústica

2.3 Teoría de ondas

2.3.1 Onda compresional

2.3.2 Onda de corte

2.4 Amplitud

2.5 Tiempo de transito

## **3.- PERFIL DE DENSIDAD VARIABLE (VDL)**

## **4.- ESPACIAMIENTO PARA LOS REGISTROS CBL-VDL**

## **5.- EFECTOS DEL INSTRUMENTO**

5.1 Condiciones físicas que afectan la respuesta del instrumento CBL

5.2 Centralización del instrumento

## **6.- TIPO DE CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

6.1 Cementos de baja y alta resistencia a la compresión

## **7.- FORMACIONES DE LA LECHADA DE CEMENTO**

7.1 Tiempo de fraguado del cemento

7.2 Espesor del anillo de cemento

7.3 Formaciones rápidas

7.4 Microanillo

## **8.- ATENUACION DE LA SENAL ACUSTICA**

8.1 Burbujas de gas en el fluido del pozo

## **9.- CASING REVESTIDO CON ARENA DE RESINA**

## **10. PREPARACION DEL POZO PARA EL PERFILAJE DE CEMENTO**

10.1 Procedimientos que producen la rotura de la unión cemento-casing

10.2 Procedimiento de perfilaje de pozo aplicando presión desde la cabeza de pozo  
sobre el fluido de casing

## **11. INTERPRETACION DE PERFILES**

11.1 Perfil de tubería libre

11.2 Perfil de buena adherencia

11.3 Perfil de buena adherencia con arribos de formación

11.4 Perfil de baja calidad

## **12. INSTRUMENTO DE MEDICION DE SECTORIZACION DE ADHERENCIA DE CEMENTO (SBT)**

12.1 Ventaja del sistema de patines

## **13. CURVA DE ATENUACIÓN (ATC)**

## **14. INTERPRETACION DEL PERFIL SBT**

14.1 Interpretación

14.2 Trabajos de campo

14.2.1 Presentación estándar

14.2.2 Perfil de Tubería libre

14.2.3 Perfil de buena adherencia de cemento

14.2.4 Perfil de mala adherencia de cemento

14.2.5 Perfil de buena adherencia de cemento mostrando una canalización

## **15. CALIBRACION DEL INSTRUMENTO SBT**

15.1 Datos de muestreo

15.2 Calibración

15.2.1 Consideraciones para la calibración

15.3 Verificación de los patines

## **16. SARTA DE HERRAMIENTAS DE SBT**

## **17. INFORMACION DE LA HERRAMIENTA SBT**

## **18. ESPECIFICACIONES DE LA HERRAMIENTA 1424XA**

## **19. ANALISIS DE COSTOS**

19.1 Comparación de costos CBL vs SBT

## **20. CONCLUSIONES**

## **21. RECOMENDACIONES**

## **22. BIBLIOGRAFIA**

## **1.- INTRODUCCION**

Durante más de sesenta años se han utilizado Perfiles de Adherencia del Cemento para evaluar los trabajos de cementación de pozos de petróleo y gas. La falta de normalización, la mala planificación, el inadecuado control de calidad y la presentación de distintos tipos de mediciones y de datos en pantalla (muchos de ellos imprecisos) han dado como resultado un historial de poca credibilidad y confianza en los Perfiles de Adherencia del Cemento.

Cuando se registra e interpreta adecuadamente, el perfil de Sectorización de Adherencia de Cemento (SBT) puede brindar información precisa y útil al personal de perforación y producción.

En este proyecto de tesis se presenta la manera de establecer las condiciones correctas de mediciones de perfilaje en el interior del pozo, el modo de elegir el equipamiento apropiado, usar los formatos de perfiles que verifiquen un registro preciso de los datos y un nuevo método para interpretar esa información, a fin de probar que los Perfiles de Adherencia del Cemento son capaces de brindar respuestas precisas y coherentes para la toma de decisiones sobre la aplicación de cementación a presión.

Luego se interpretaran trabajos realizados en campos de Neuquen-Argentina y Midland-USA y se harán una comparación de costos entre los registros de CBL y SBT.

## 2.-CONCEPTOS TEORICOS

### 2.1 Registro de Adherencia de Cemento (CBL)

El instrumento de Perfil de Adherencia de Cemento (*Cement Bond Log*, CBL) es un dispositivo acústico que consta de un transmisor y generalmente, de dos receptores. Se transmite un pulso acústico a través de los materiales que rodean el instrumento, para que los receptores midan las amplitudes y tiempos de las ondas acústicas.

El propósito principal de estas mediciones consiste en:

- Determinar la presencia o ausencia de cemento en el espacio anular entre el casing en el pozo y las formaciones circundantes, y
- Determinar si el cemento se ha adherido al casing, a las formaciones, o a ambos.

Para que exista un adecuado aislamiento entre intervalos impermeables en un pozo, debe colocarse un anillo de cemento eficaz a lo largo de un intervalo de profundidad vertical entre dichas zonas. El cemento en el espacio anular debe brindar un sello hidráulico eficaz para soportar las operaciones de terminación y producción.

El instrumento CBL no mide el sellado hidráulico en forma directa, pero las cualidades de adherencia medidas permiten realizar inferencias respecto de la calidad del sellado. La determinación de la integridad del cemento se realiza mediante el análisis de la forma de onda acústica en su totalidad, de las amplitudes de los arribos de casing, y a través de la medición del tiempo de tránsito del receptor único.

Los instrumentos estándar de adherencia de cemento utilizan una configuración de receptor doble no compensado y transmisor único. Los receptores están ubicados a distancias fijas de 3 y 5 pies desde el transmisor.

### 2.2 Sistema de medición acústica

Existen dos tipos de transmisor en los instrumentos de interior de pozo. Los *transductores piezoeléctricos*, que se emplean en la mayoría de los instrumentos acústicos, se deforman y oscilan cuando la intensidad del campo eléctrico se modifica en forma súbita.

Algunos instrumentos emplean *transductores magnetoresistivos*, que cambian de forma, oscilan y producen un pulso acústico cuando se los somete a un cambio repentino y breve del campo magnético. Ambos tipos de transductores son de forma cilíndrica; cuando se les trasmite energía, el cambio físico resultante crea una

vibración que, a su vez, produce ondas de compresión. Las ondas se propagan en forma esférica desde el transmisor. La frecuencia de operación de todos los instrumentos es de 20 Khz., con excepción del instrumento para pozos de diámetro pequeño, que opera a 28 Khz.

### **2.3 Teoría de Ondas**

Aunque existe una variedad de ondas acústicas, solamente dos de ellas tienen relevancia práctica para el perfilaje de cemento.

#### **2.3.1 Onda Compresional**

Se transmite a través del movimiento hacia delante y hacia atrás de las partículas en la dirección de desplazamiento de la onda.

Las ondas de compresión pueden transmitirse a través de líquidos y sólidos (columna de lodo, casing, cemento, formación), y su amplitud (a través del casing) provee una indicación de la adherencia del cemento. Es posible predecir con facilidad el arribo de la onda compresional al receptor.

#### **2.3.2 Onda de Corte**

La *onda de corte* se transmite a través de un movimiento de partículas que es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Esta onda es mucho más lenta que la onda compresional (entre 1,6 a 1,9 veces más prolongada). En la Figura N° 1 de la parte inferior se muestra una representación de las ondas de corte y de compresión. La amplitud de la onda de corte suele ser mayor que la de la onda compresional. Dado que los gases y los líquidos no tienen esfuerzo de corte, solamente los sólidos pueden sustentar una onda de corte. Cuando las condiciones de adherencia son buenas, tanto la onda compresional con la de corte se propagan al interior del sólido ubicado en la interfaz cemento / formación y pueden ser detectadas por el receptor. En la mayoría de los casos, la propia presencia de la onda de corte es un indicio de que la adherencia es buena. Las ondas de corte pueden identificarse mediante dos condiciones: 1) cambios en el tiempo de arribo de corte que no siempre son paralelos a los tiempos de arribo de compresión, y 2) un aumento de la amplitud acústica. Los tiempos de arribo de la onda de corte pueden quedar ocultos tras los tiempos de arribo de la onda compresional tardíos y, en general, no es posible identificarlos en formaciones de baja velocidad.

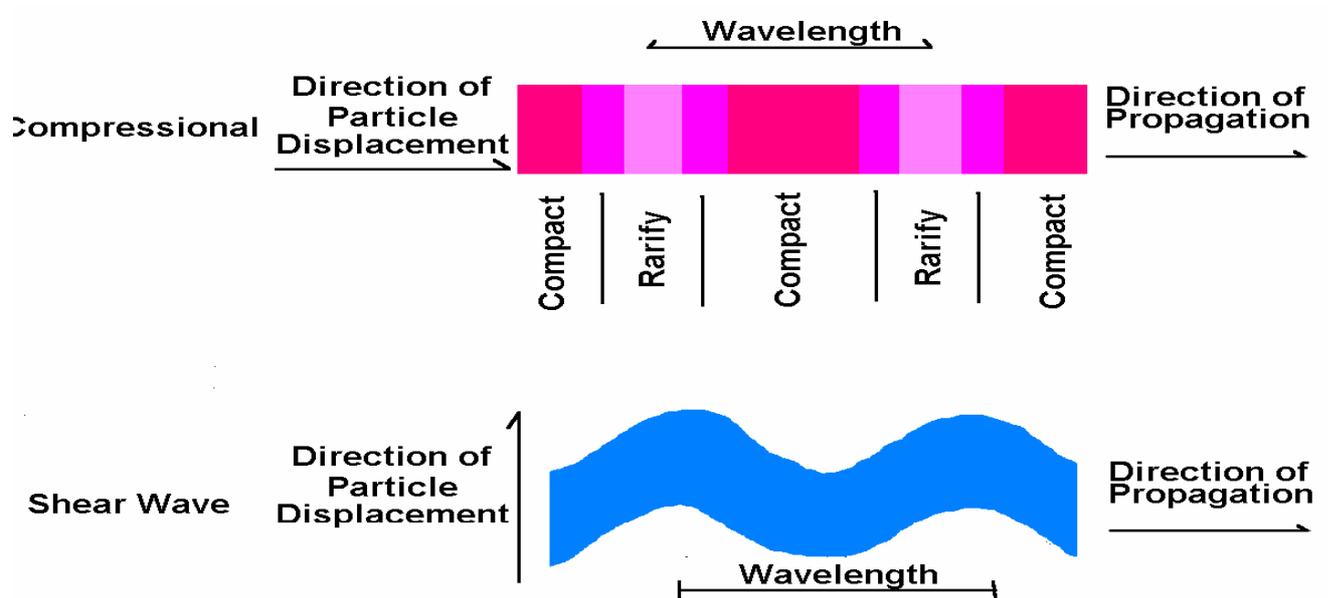


Figura N° 1: Ondas Compresionales y de Corte

Cuando el transmisor se activa, la onda compresional recorre una variedad de trayectorias. Se propaga hacia abajo por la carcasa del instrumento y en sentido horizontal y vertical por el fluido en el interior del pozo. Cuando la onda choca contra la pared interior del casing, parte de la energía es reflejada, y el resto se transmite al acero, al anillo de cemento y a la formación (Ver Figura N° 2). En cada una de estas interfaces, parte de la energía es reflejada y el resto se transfiere al medio adyacente.

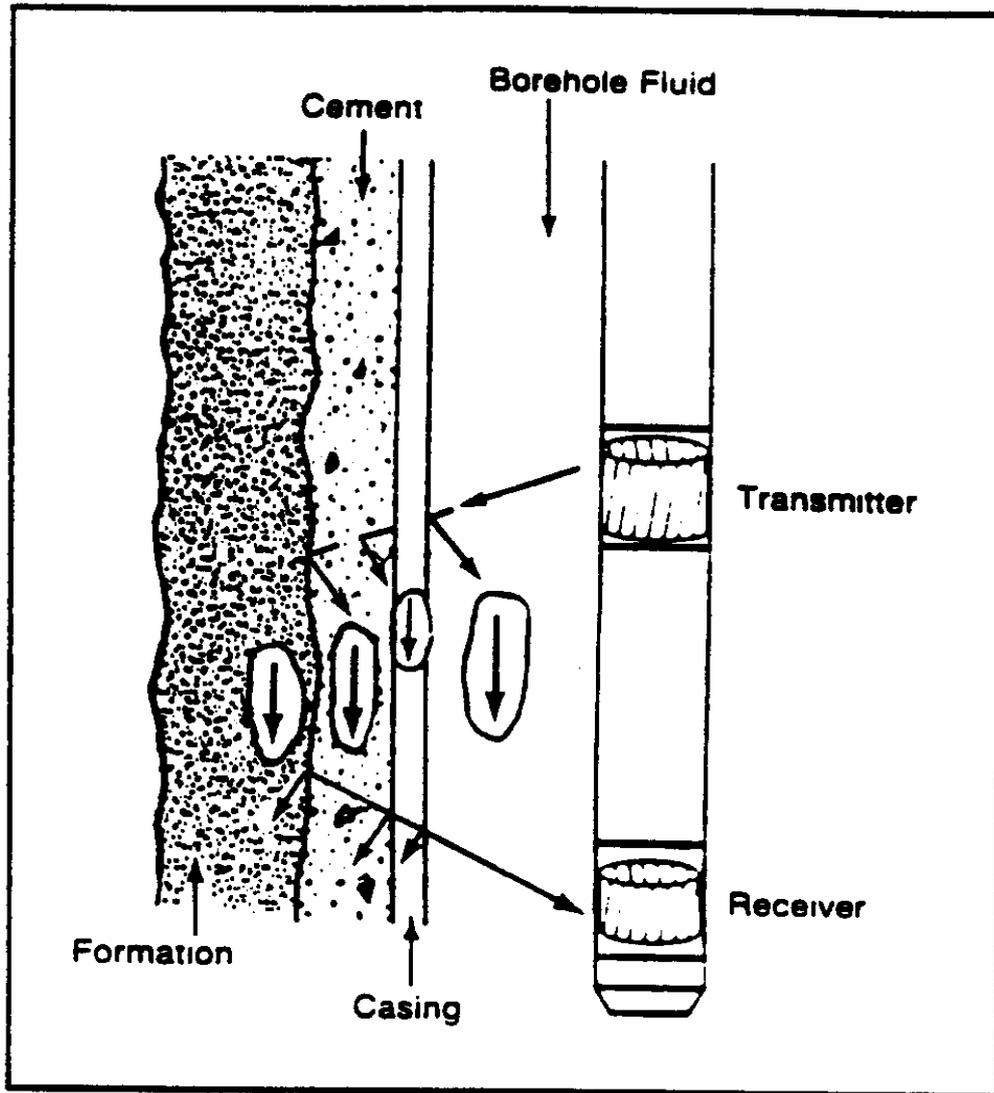


Figura N° 2

Parte de la energía acústica se refleja en cada interfaz a lo largo de los trayectos de transmisión.

Los receptores de un instrumento de perfil de cemento operan, en los aspectos básicos, como transmisores inversos; es decir, las variaciones de presión provocadas por la energía producen las señales eléctricas.

Con factores de atenuación elevados, el receptor de 3 pies brinda la máxima señal y una alta resolución, además de la máxima resolución vertical, y ha sido recomendado por la *Cement Bond Advisory Board* del API, al considerarlo aceptable para realizar mediciones de amplitud y tiempo de tránsito. El intervalo de cinco pies se emplea para registrar las formas de onda de Densidad Variable.

Con este espaciado largo, la exhibición de la forma de onda completa brinda información relacionada con la formación. El intervalo más largo provee una mayor separación entre los tiempos de arribo de señal del casing y de la formación (ver Fig. N° 3). Con el instrumento para pozos de diámetro pequeño se buscó un equilibrio, mediante el uso de un receptor ubicado a 4 pies del transmisor para realizar las mediciones de amplitud / tiempo de arribo y para la señal VDL.

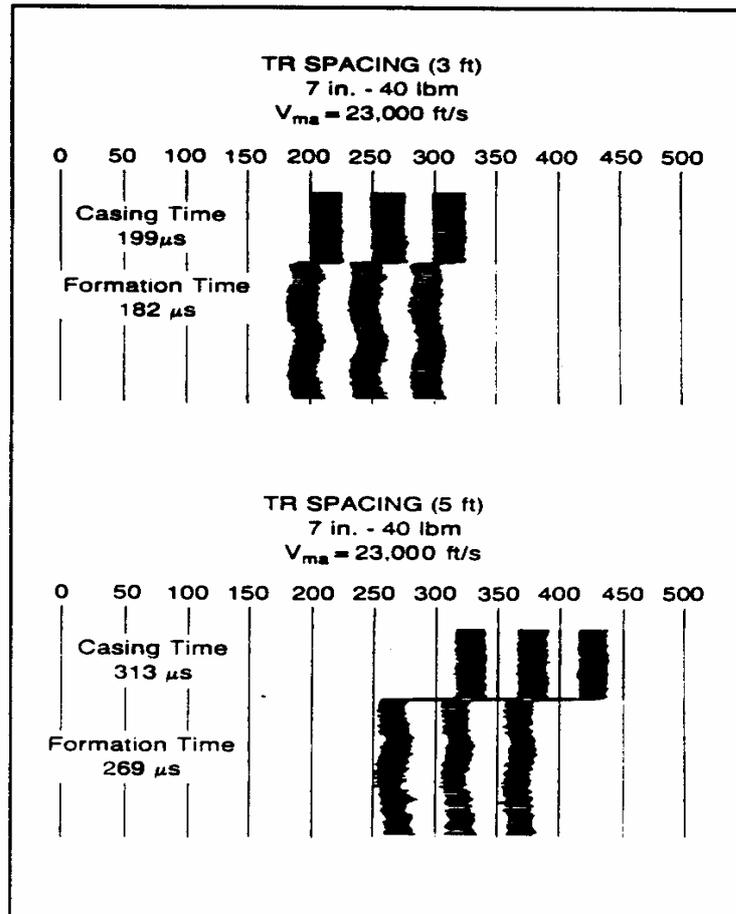


Figura N° 3

Se logra una mayor diferenciación de los tiempos de arribo de casing y de la formación mediante un rango TR más prolongado.

Como ya se ha mencionado, la señal acústica recorre múltiples trayectorias a través de medios diferentes para desplazarse del transmisor al receptor. Cada uno de los medios permite que las ondas acústicas se desplacen a una velocidad específica (Ver Tabla N° 1)); por lo tanto, en general, las señales provenientes de diferentes trayectorias arribarán al receptor en tiempos diferentes. La velocidad acústica en una formación específica se reduce (el tiempo de tránsito aumenta) a medida que aumenta la porosidad de la formación. En general (pero no en todos los casos) la porción de la forma de onda que se transmitió por el casing arribará en primer

lugar, seguida de las que se desplazaron por el cemento, por la formación y, por último, por el fluido (Ver Figura N°4 ). La porción de la señal que se desplaza por el propio instrumento hasta el receptor recorre una trayectoria muy tortuosa, y tarda tanto en llegar que nunca se la detecta.

| <b>TABLA N 1</b>        |  |
|-------------------------|--|
| <b>Mineral</b>          | <b>Tiempos de recorrido</b><br><b>t (μseg/pie)</b> |
| Roca arenisca           | 55,5   |
| Roca caliza             | 47,6   |
| Dolomita                | 43,5   |
| Sal                     | 67,0   |
| Anhidrita               | 50,0   |
| Polihalita              | 57,5   |
| Trona                   | 65,5   |
| Silvita                 | 74,0   |
| Yeso                    | 52,5   |
| Agua (dulce)            | 200,0  |
| Agua (100.000 ppm NaCl) | 189,0  |
| Agua (100.000 ppm NaCl) | 182,0  |
| Petróleo                | 222,0  |
| Aire                    | 919,0  |
| Casing                  | 57,0   |

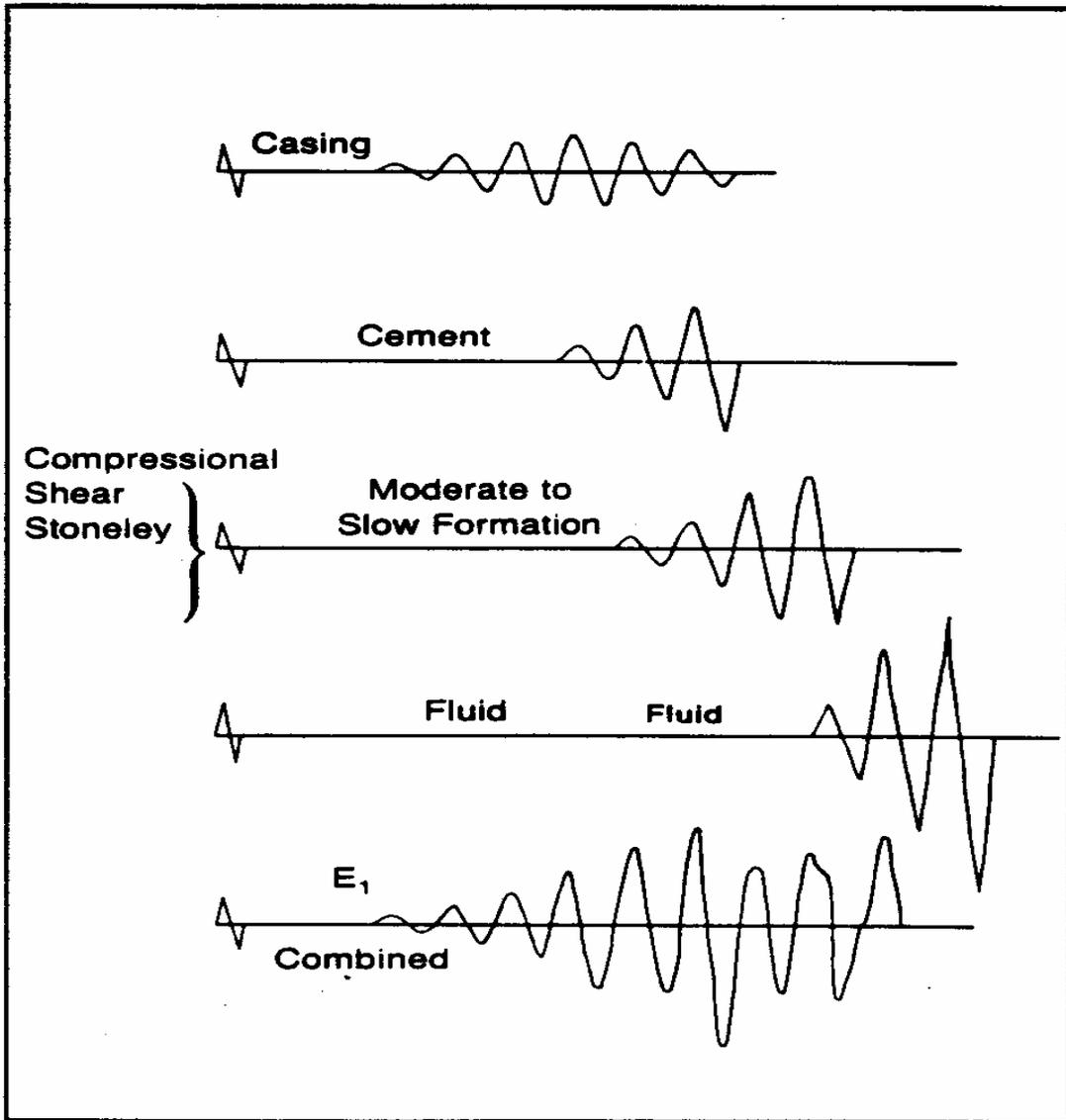


Fig. N° 4: Gráfico combinado de los recorridos de la señal del perfil acústico de adherencia de cemento

## 2.4 Amplitud

La medición de amplitud está relacionada con la cantidad de energía acústica en el receptor, y es a partir de este dato que se obtienen soluciones cuantitativas de la resistencia a la compresión y del índice de adherencia del cemento. La energía de la forma de onda acústica sufre una atenuación a medida que recorre la distancia entre el

transmisor y el receptor; esa atenuación equivale a una pérdida de energía, que generalmente se expresa en decibeles por pie.

La medición de amplitud que se realiza en la mayoría de compañías de perfilaje es representativa del primer arribo positivo ( $E_1$ ) en el receptor cercano. Esto se logra mediante el uso de una *compuerta fija* que se fija en el primer período pronosticado de arribo de casing ( $E_1$ ) (Ver Figura 5. La compuerta no se abre hasta después de transcurrido un intervalo de tiempo fijo luego de la emisión del transmisor; se mantiene abierta durante otro intervalo de tiempo fijo. Mientras la compuerta de amplitud se mantiene abierta, se mide la amplitud del pico más alto (o pico parcial) dentro de la compuerta.

El ingeniero debe establecer la sincronización de la compuerta de amplitud, que dependerá del tamaño y peso del casing, si no se establecen las compuertas de amplitud en forma correcta, se pueden producir malos perfiles que no se podrán reparar.

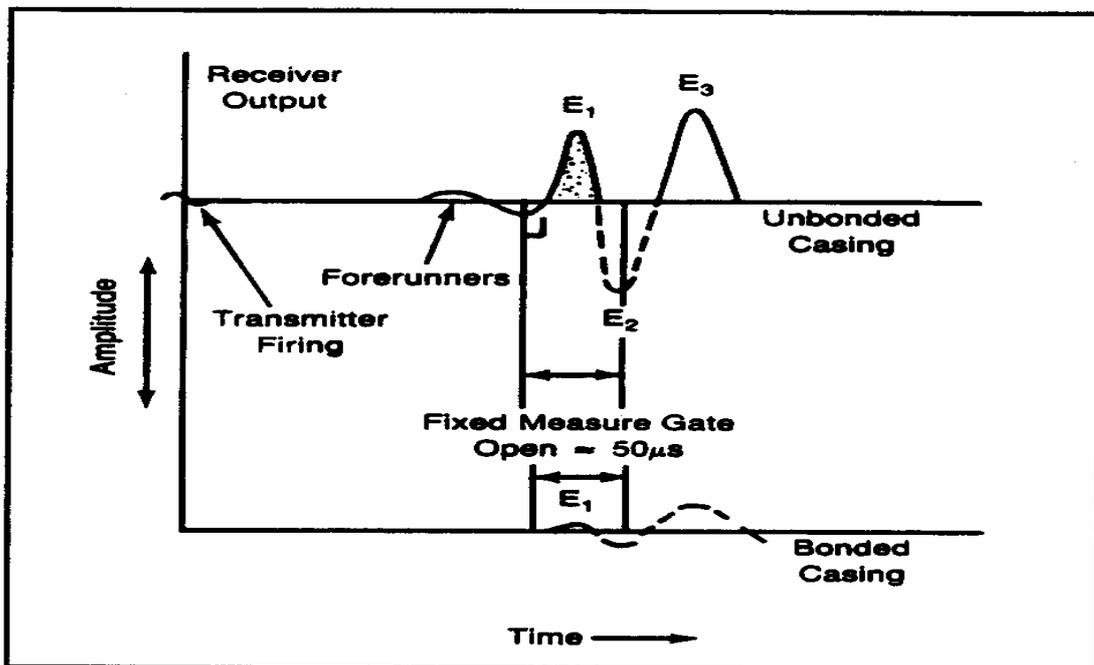


Figura N° 5

Posicionamiento de la compuerta electrónica fija en el tiempo correcto

La interpretación (generalmente cualitativa) de la adherencia del cemento se calcula a partir de la amplitud de la siguiente manera:

- Una elevada amplitud indica que el casing puede vibrar con relativa libertad; por lo tanto, no la adherencia o sostén no son buenos.

- Una amplitud baja indica que el casing está más confinado o adherido, lo que provoca la atenuación de la energía de la onda por parte de los medios circundantes.
- Las mediciones de amplitud que se encuentran entre los valores máximos y mínimos determinan un porcentaje de adherencia del casing.
- Esta única medición y su interpretación simplificada suelen generar muchas de las controversias y errores relacionados con el análisis de perfiles de adherencia del cemento.

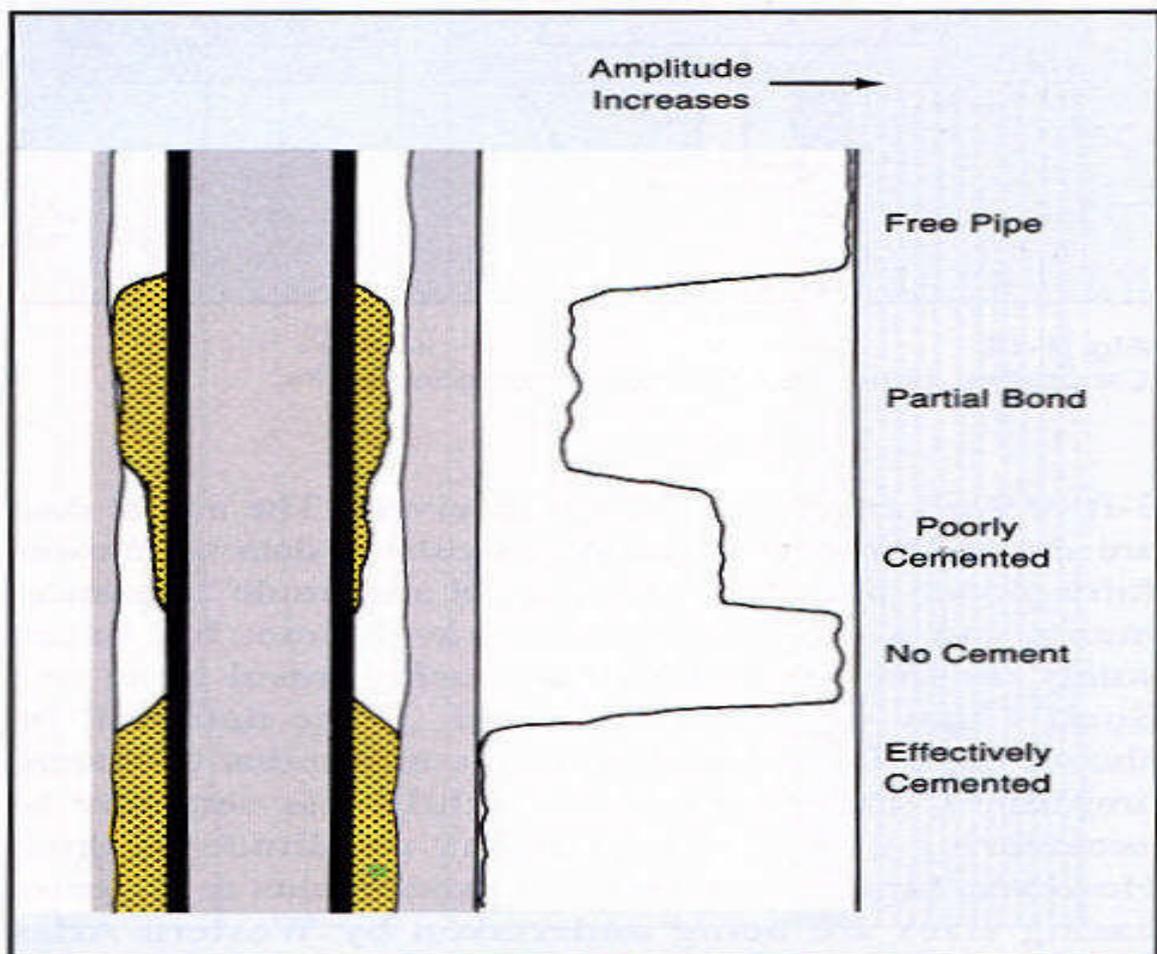


Figura N° 6 : Interpretación cualitativa generalmente aceptada de la curva de amplitud

## 2.5 Tiempo de tránsito

La curva de tiempo de tránsito representa el tiempo requerido para detectar el primer pulso de suficiente amplitud en el receptor y, si se emplea una escala lo suficientemente sensible, es de utilidad para determinar la centralización del instrumento y los efectos de formación rápida.

Para este procedimiento se emplea un sistema de detección de *compuerta flotante* (Ver Figura N° 7), la compuerta se mantiene abierta desde el momento de la emisión del transmisor hasta que se encuentra un pulso cuya amplitud es suficiente para alcanzar la configuración de nivel de umbral, luego, esta respuesta se registra como el tiempo del primer arribo acústico. El nivel de detección del umbral es de importancia crítica. Generalmente se lo establece en un valor considerablemente menor al 10% de la amplitud de la tubería libre, pero se lo puede regular según la preferencia del usuario. El ingeniero debe tener cuidado al configurar este nivel, dado que un valor muy alto provoca un exceso de “salteo de ciclos”, mientras que un valor muy bajo puede hacer que la compuerta se active prematuramente.

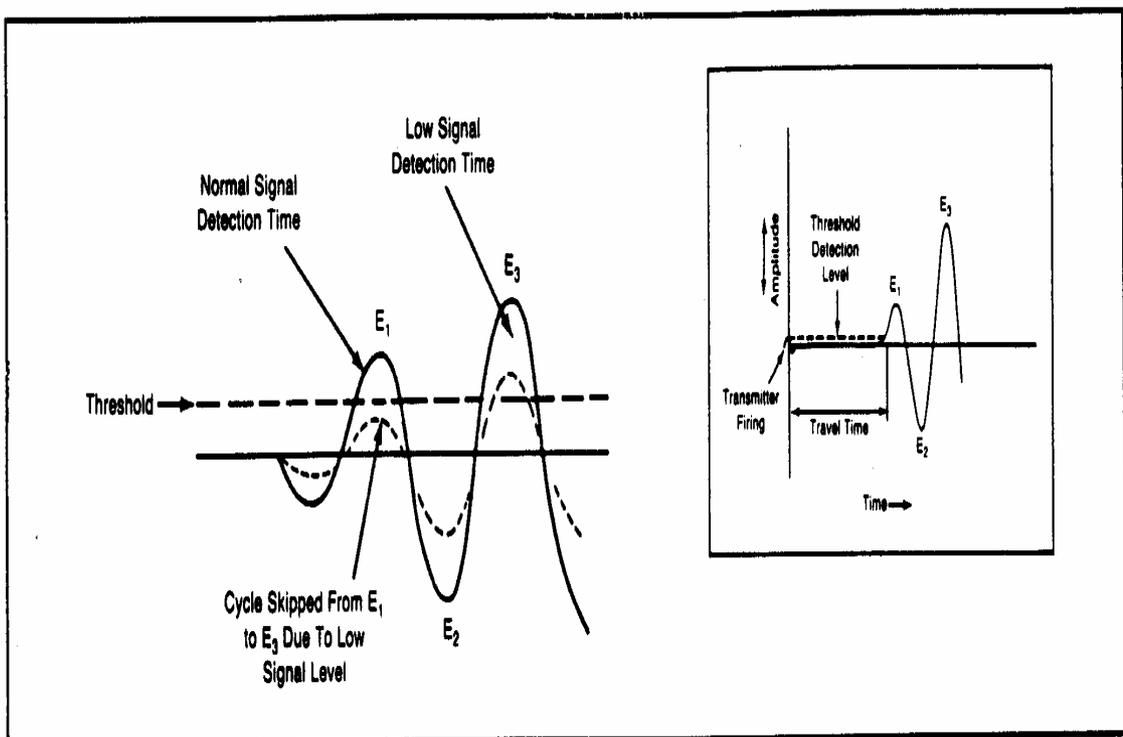


Figura N° 7

### 3.- PERFIL DE DENSIDAD VARIABLE (VDL)

El perfil de densidad variable es una señal de eje Z con modulación de intensidad que exhibe la amplitud de la forma de onda recibida mediante matices variables del blanco al negro. En la Figura N° 8 se muestra el desarrollo del perfil VDL; el color negro representa una amplitud positiva elevada y el blanco una amplitud negativa; los matices de gris representan las diferentes intensidades de amplitud positiva.

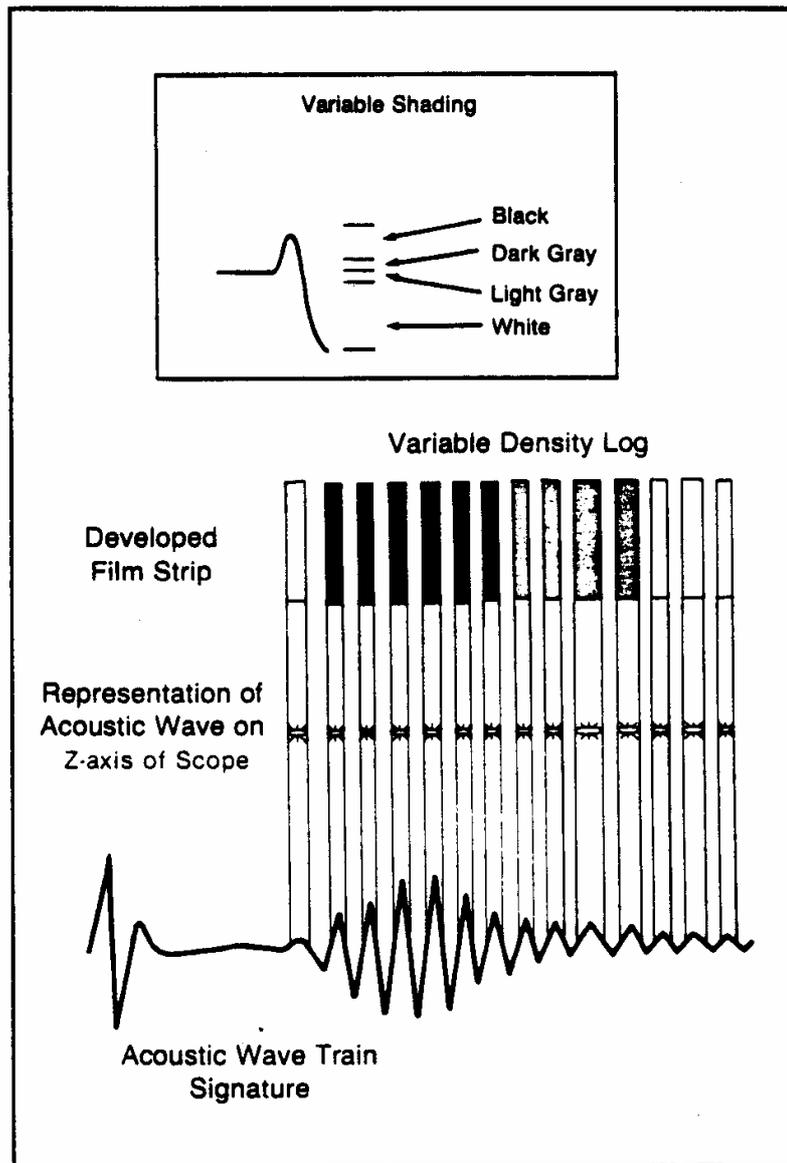


Figura N° 8: Traducción del perfil de señal acústica a perfil de densidad variable.

La ventaja de esta presentación consiste en que brinda una visión continua del pozo y permite identificar los arribos de casing, de formación y de fluido; si estas señales pueden identificarse en forma individual, es posible establecer una determinación práctica de la presencia o ausencia de cemento. La señal de casing en el perfil VDL se produce con un tiempo relativamente constante y se la observa como líneas muy rectas que aparecen tempranamente en la presentación de la forma de onda.

También es posible reconocer los arribos de fluido o de lodo como arribos de líneas relativamente rectas, pero se presentan en la sección tardía de la presentación. En general, los arribos de formación exhibirán cierto carácter (es decir, no serán rectos) y aparecerán en los intervalos de casing esperados.

Sin embargo, las formaciones duras de baja porosidad (formaciones rápidas) pueden mostrar tiempos de arribo homogéneos en un intervalo de profundidad y producirse al mismo tiempo o antes que los tiempos de arribo esperados para el casing. Por lo tanto, pueden ser más difíciles de reconocer; en cualquier caso, si en un intervalo se encuentran presentes los arribos de la formación, ello indica que existe una trayectoria acústica completa entre el instrumento y la formación, por lo tanto, se trata de un indicio de adherencia entre el casing, el cemento y la formación en ese intervalo.

La presentación VDL o de ondícula es el único método para evaluar la adherencia del cemento a la formación con un perfilaje de cemento.

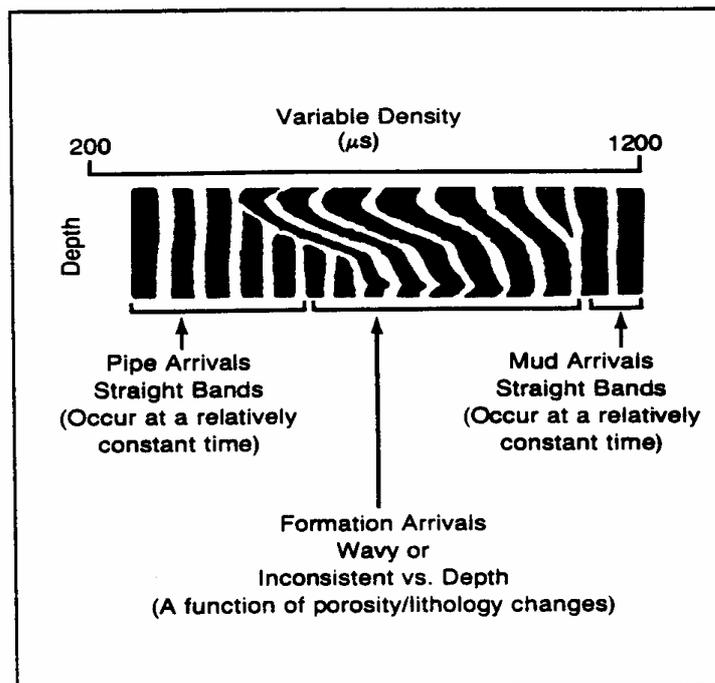


Figura N° 9

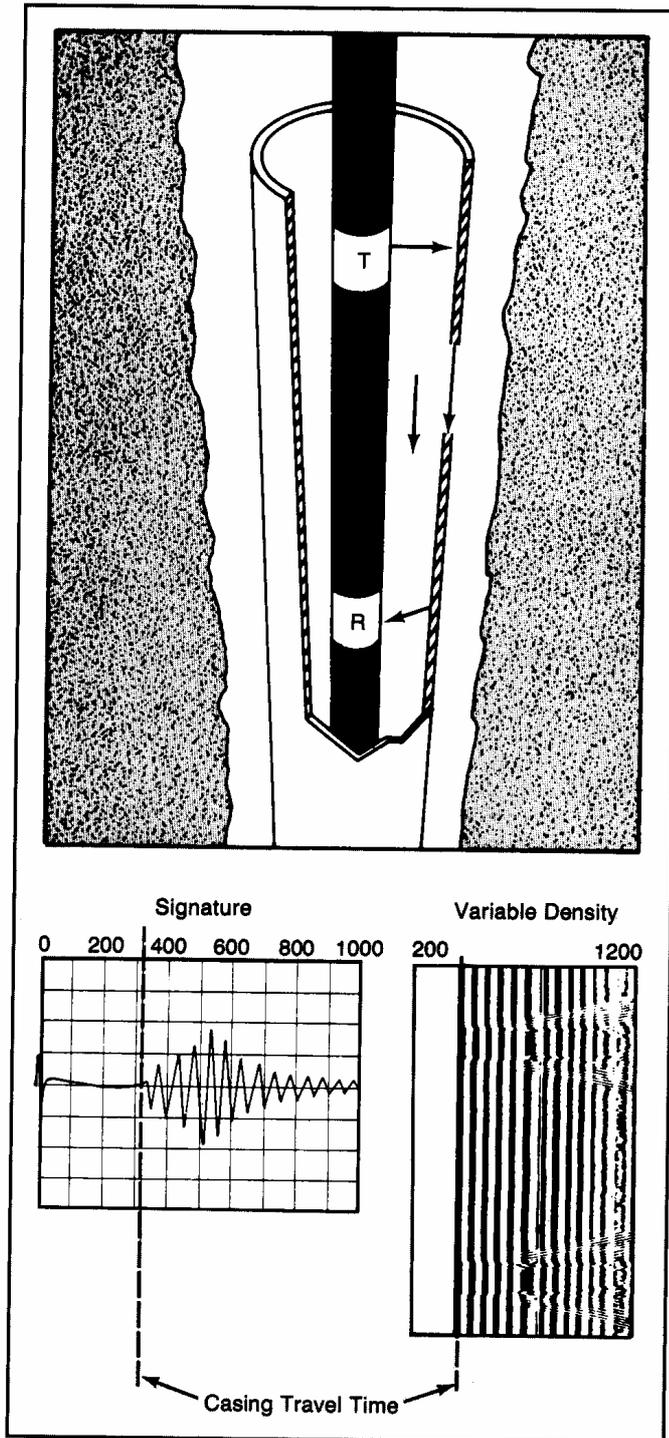


Figura N° 10: Características de ondícula y VDL en cañería libre

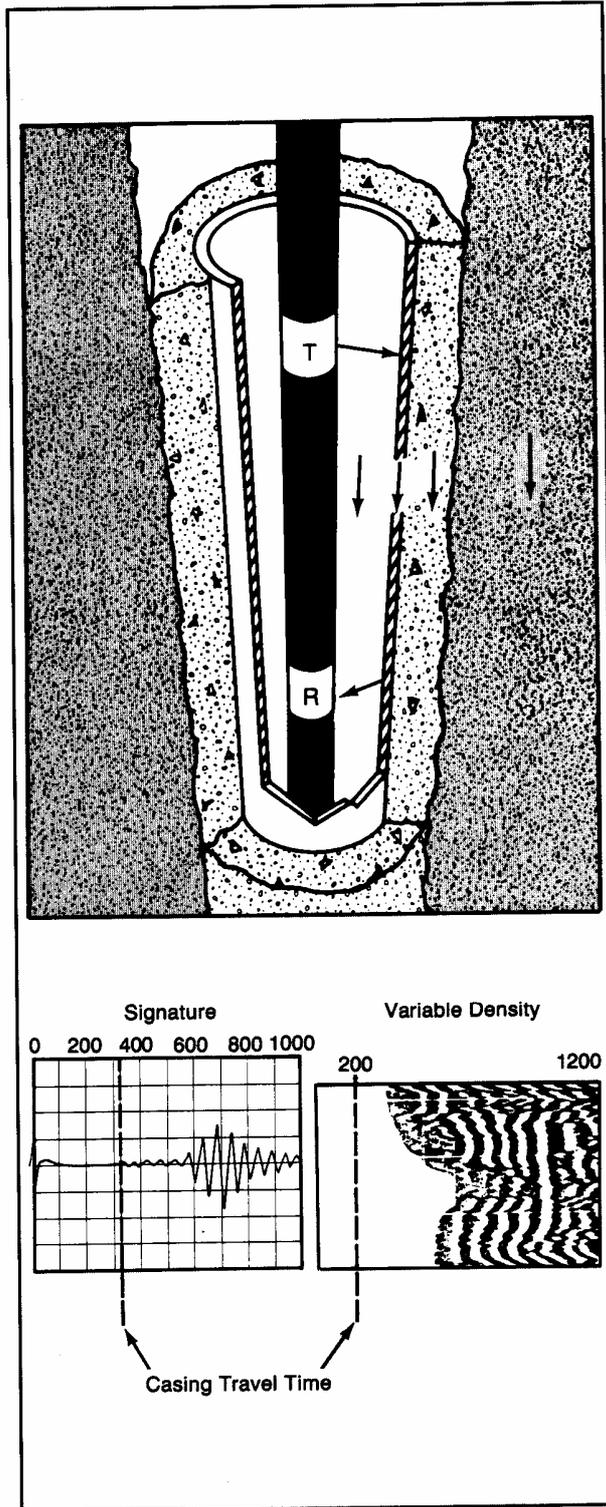


Figura N° 11

Una buena adherencia al casing y a la formación produce un acoplamiento acústico favorable, como se ve en la forma de onda y en el VDL

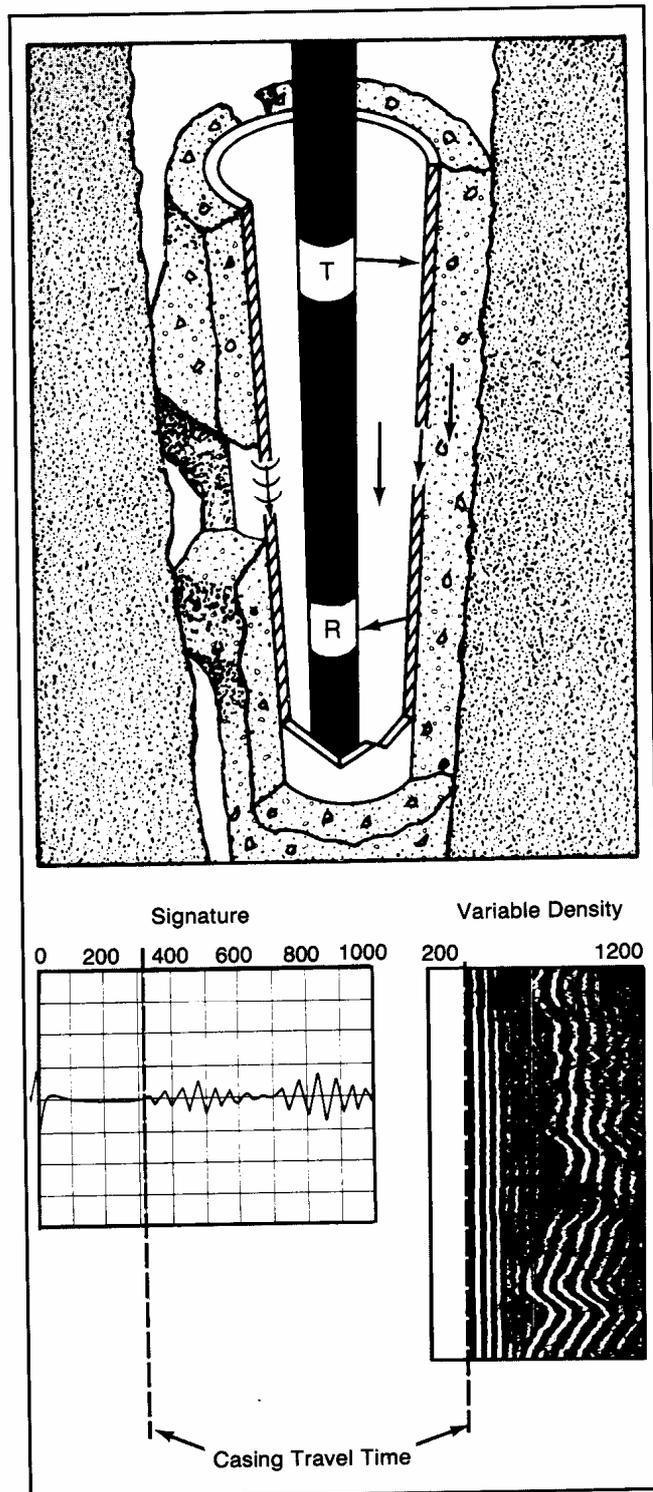


Figura N° 12.

Características de ondícula y VDL cuando la adherencia es pobre o parcial

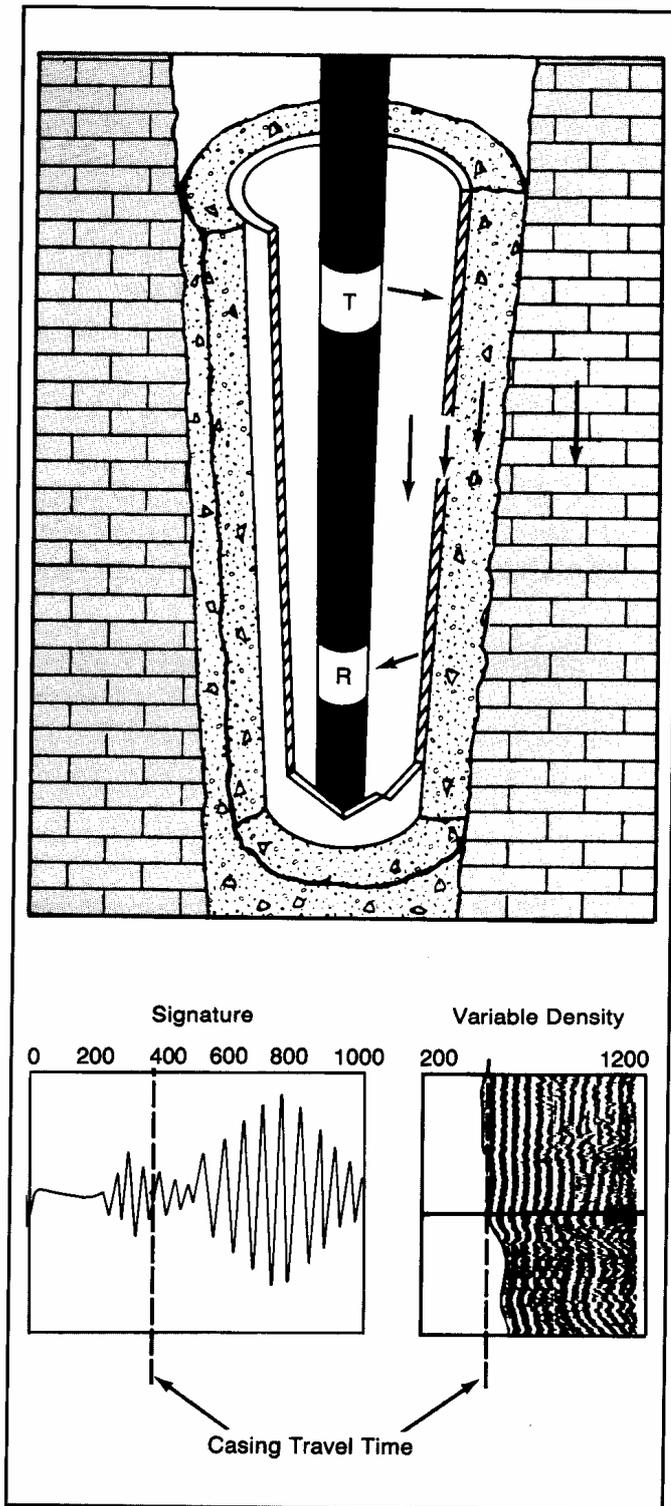


Figura N° 13.

Señales de formación rápida (de alta velocidad)

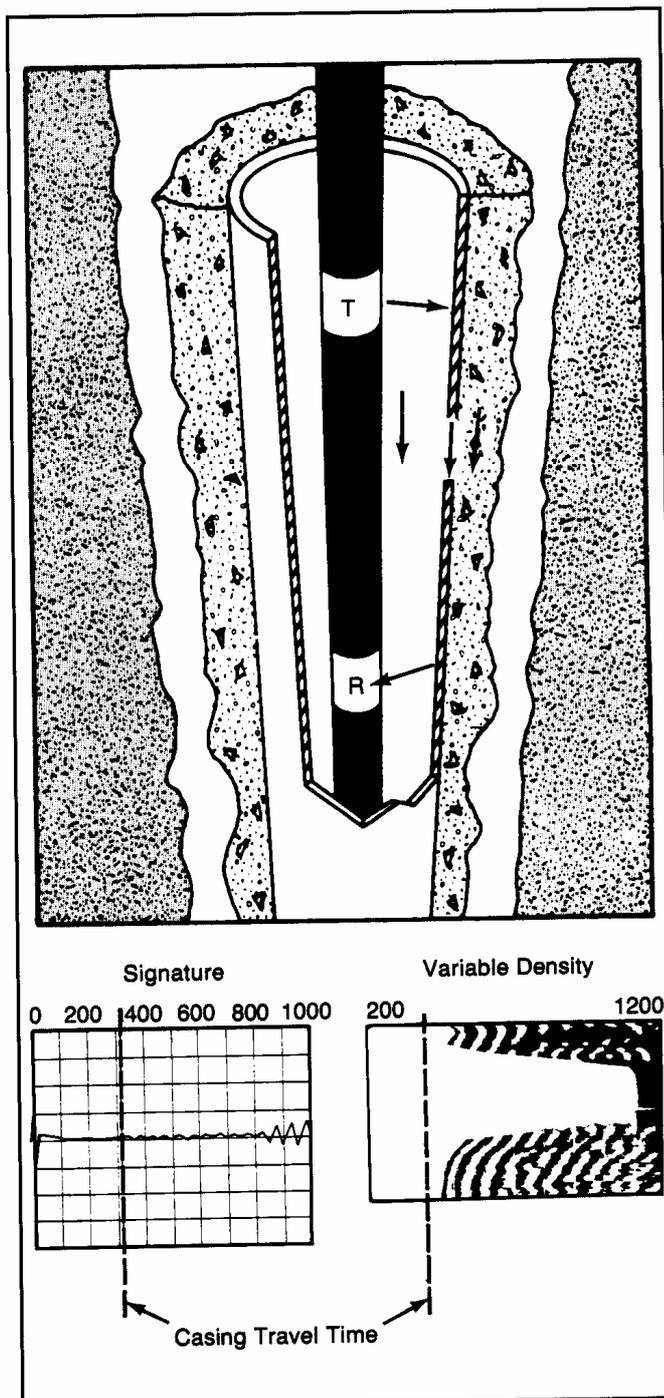


FIG. 14

Figura N° 14

Comportamiento de la señal acústica y del VDL cuando la adherencia es buena únicamente con la cañería.

#### **4.-ESPACIAMIENTO PARA EL REGISTRO DE LOS PERFILES CBL-VDL**

El perfil de cementación (CBL) es un registro continuo y hecho en pozos entubados, de la amplitud de la primera señal sonora llegada a través de la tubería de revestimiento (casing). Estas señales tienen una frecuencia resonante de 20 a 25 KHz.

La amplitud de la primera señal puede variar dependiendo del diseño de la herramienta y de las condiciones de la tubería de revestimiento y la cementación, desde, menos de un milivoltio hasta ver decenas de milivoltios.

La amplitud de la primera señal registrada, llegada a través del revestimiento, es mínima cuando la herramienta o sonda se encuentre frente a una tubería de revestimiento protegida por un anillo de cemento fraguado, con un espesor de más de 0.75 de pulgada y con óptima adherencia a la tubería de revestimiento en toda su circunferencia.

Esta amplitud mínima corresponde a una atenuación máxima.

Además se ha demostrado con experimentos de laboratorio, que la atenuación sonora (en decibeles por pie) en tubería cementada, es proporcional al porcentaje de la circunferencia de revestimiento que posee buena adherencia al cemento. Una disminución de la atenuación a menos del 70 o 80 % del valor máximo, puede ser indicativo de problemas en la cementación.

La respuesta de la herramienta de CBL a los cambios en atenuación sonora, depende en alto grado del espaciamiento entre transmisor y receptor.

En la siguiente figura se muestra una comparación de la respuesta de la amplitud del perfil CBL (en milivoltios), con la atenuación sonora (en decibeles por pie) para diferentes espaciamentos transmisor-receptor en una tubería de revestimiento típica de 7 pulgadas. Se pueden hacer varias observaciones significativas basadas en esta comparación.

Primero, para atenuaciones mayores que aproximadamente 2.5 db por pie lo que está en la gama de interés para la evaluación de la calidad de la cementación, un cambio en la amplitud registrada correspondiente a un cambio dado de atenuación, es mayor para espaciamentos cortos entre transmisor y receptor que para espaciamentos largos.

Esto significa que para el perfil CBL un espaciamento de 3 pies suministra una resolución considerablemente mejor que, por ejemplo, un espaciamento de 6 pies. Una herramienta con

espaciamiento largo tiende a convertirse meramente en un dispositivo detector de amplitud máximo y mínimo, que produce un registro optimista de la calidad de la cementación, ya que desviaciones pequeñas, pero significativas, de la atenuación máxima no son tan evidentes; también se obtendrá un perfil pobre en detalles, debido a la poca resolución vertical, la cual es inherente a un espaciamiento largo.

Otra conclusión importante de la Figura N° 15 es que un espaciamiento corto da lecturas más precisas para valores altos de atenuación. Si se toma un milivoltio como el límite práctico de exactitud para medidas de amplitud, el gráfico muestra que para un espaciamiento de 6 pies, el valor de 1 milivoltio corresponde a alrededor de solo 6.4 decibelios por pie de atenuación. Con un espaciamiento de 3 pies, se puede medir con la misma exactitud un cambio de atenuación de casi el doble (12.6 decibelios por pie), que con un espaciamiento de 6 pies.

Espaciamientos aún más cortos que 3 pies permitirían una resolución todavía mejor; sin embargo si el receptor está muy cerca del transmisor, la energía propagada a través de la columna de lodo puede interferir con la llegada de las señales a través del revestimiento. Esto es aplicable especialmente a revestimientos de tamaño grande.

Para un perfilado óptimo de CBL, el espaciamiento entre transmisor y receptor debe ser pequeño, para obtener un nivel de señal y una resolución máxima a altas atenuaciones, como también máxima resolución vertical, pero no tan pequeño que se produzcan interferencias con las llegadas directas de ondas sonoras a través del lodo. Se recomienda emplear espaciamiento de 3 pies.

Para el perfilado VDL, sin embargo, un espaciamiento corto no es deseable. Para obtener una imagen clara de las llegadas de ondas compresionales a través de la formación en secciones cementadas con buena adherencia, la señal proveniente de la formación debe ser más fuerte que aquella porción de onda que procede de la tubería de revestimiento misma y que llega al receptor al mismo tiempo que la señal de formación. La solución es usando un espaciamiento largo, el sonido viaja más despacio a través de formaciones blandas que a través de la tubería de revestimiento; de esta forma, si se emplea un espaciamiento largo entre transmisor y receptor, la señal procedente de la tubería de revestimiento habrá desaparecido antes de la llegada de la señal de formación, pudiendo registrarse así esta última sin interferencias.

## Grafico Amplitud vs Atenuacion del Sonido

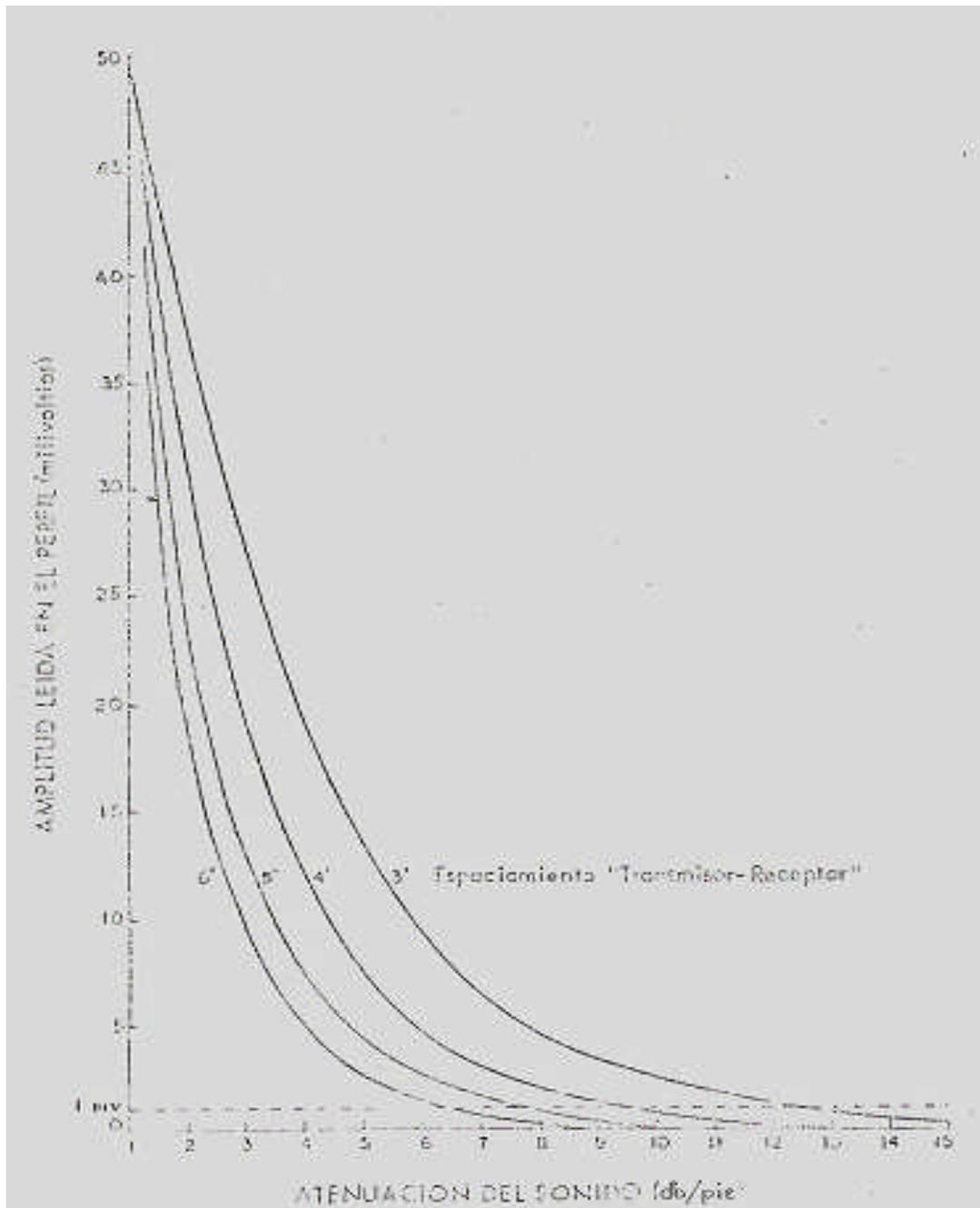


Figura N° 15: Amplitud leída en el perfil CBL vs la atenuación para los diferentes espaciamentos transmisor-receptor en tubería de revestimiento de 7 pulgadas

En formaciones duras ,las diferencias entre los tiempos de llegada de las señales provenientes de la tubería de revestimiento y de la formación son pequeños ; sin embargo, la atenuación sonora en la formación es normalmente baja(del orden de 4 decibeles por pie) comparada con la atenuación en tubería de revestimiento cementada .

Así aumentando el espaciamiento, se acentúa el contraste de la señales llegadas de la formación con respecto a las señales llegadas del revestimiento.

Cuanto mas largo el espaciamiento del perfil VDL, mejor se reconocen las llegadas señales acústicas de la formación. Un espaciamiento de 5 pies para el perfil VDL ha dado buenos resultados en la practica.

Se podrán usar aún espaciamientos mas largos ,si el nivel de energía a la altura del receptor es suficientemente grande para permitir una medición continua y confiable .

Como se requieren diferentes espaciamientos para el perfil CBL y el perfil VDL, se esta usando un sistema que permite el registro simultaneo de un perfil CBL a 3 pies y un perfil VDL a 5 pies .Esta combinación se realizo con éxito.

## **5.-EFECTOS DEL INSTRUMENTO**

### **5.1 Condiciones físicas que afectan la respuesta del instrumento CBL**

Existe una variedad de condiciones físicas que pueden afectar la respuesta de un perfil de adherencia de cemento. Entre ellas se incluyen:

- Descentralización del instrumento
- Tipo de cemento y resistencia a la compresión
- Tipo de fraguado insuficiente
- Anillo de cemento inferior a  $\frac{3}{4}$  de pulgada
- Formaciones rápidas
- Microanillo
- Burbujas de gas en el fluido del pozo

### **5.2 Centralización del instrumento**

Una correcta centralización del instrumento en el pozo es de importancia crítica para obtener mediciones de amplitud pico precisas y así determinar los indicios de adherencia del cemento a la tubería. Las características omni-direccionales de los transductores exigen esta centralización para garantizar primeros arribos simultáneos desde todas las direcciones. Con una descentralización de sólo  $\frac{1}{4}$  de pulgada, se produce una pérdida de señal de hasta 50% , dado que las señales llegan desfasadas al receptor. Esto puede provocar una interpretación optimista errónea acerca de la adherencia del cemento.

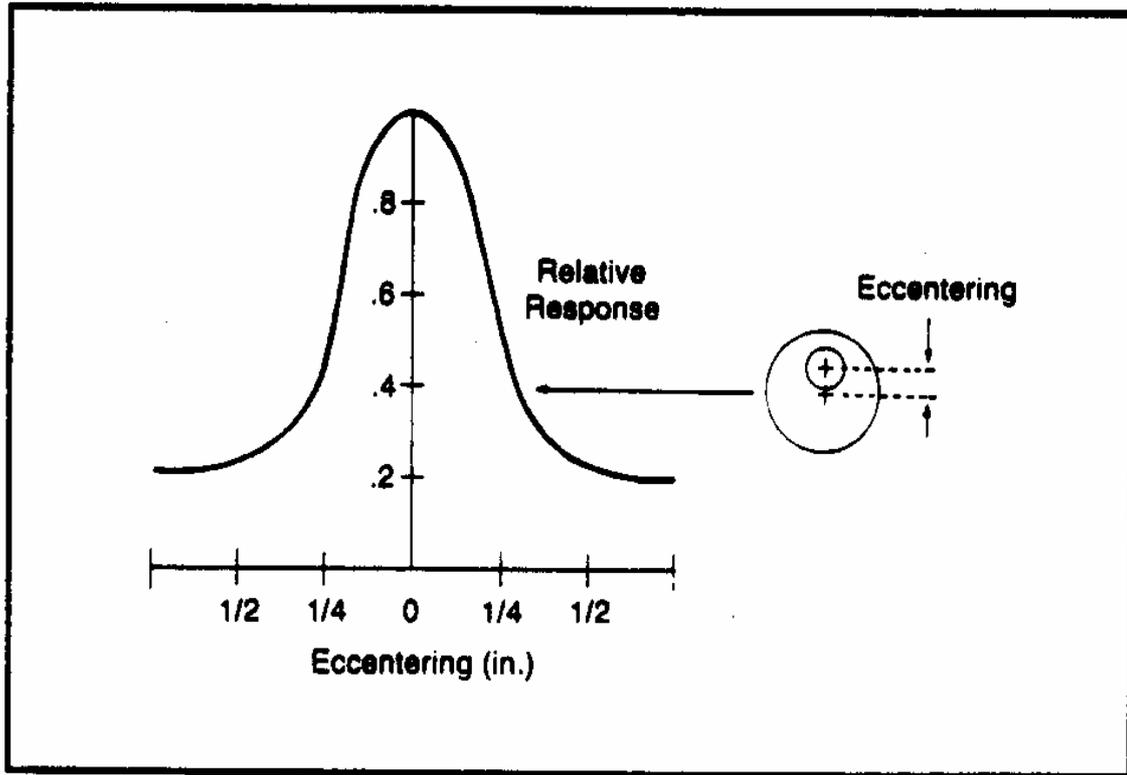


Fig. 16

Figura N° 16. Efectos que ejerce la descentralización sobre la amplitud

La medición de tiempo de arribo ayuda a determinar si la herramienta está bien centrada. Es relativamente sencillo predecir el tiempo de arribo del primer casing (Curva Pronosticada de Tiempo de Tubería) y si el instrumento no está centrado de la manera correcta, el tiempo de arribo se anticipará.

## **6.-TIPO DE CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Mediante experimentos de laboratorio, se ha establecido una relación definida entre la resistencia a la compresión del cemento y los factores de atenuación acústica. El tipo de cemento y de sus aditivos determinan la resistencia a la compresión que se desarrollará una vez que fragüe el cemento.

### **6.1 Cemento de baja y alta resistencia a la compresión**

Los cementos con baja resistencia a la compresión hacen que el factor de atenuación de la señal acústica sea bajo, mientras que los cementos cuya resistencia a la compresión es elevada exhiben un factor de atenuación alto. Para una interpretación precisa del perfil de cemento, es de vital importancia conocer el tipo de cemento utilizado, su resistencia a la compresión desarrollada, y si se lo modificó durante las operaciones de cementación, de terminación o de producción. Un cemento de baja resistencia a la compresión puede, de todas formas, brindar un sello hidráulico y aislamiento de zona, siempre que no se lo someta a fuerzas que pudieran romperlo.

## **7.-FORMACIONES DE LA LECHADA DE CEMENTO**

### **7.1Tiempo de fraguado del cemento**

Las lechadas de cemento se diseñan de modo tal de proveer un sello hidráulico en el espacio anular cuya resistencia a la compresión sea suficiente para soportar las operaciones de terminación y de producción. El tiempo requerido para que la lechada alcance la resistencia a la compresión deseada está relacionado con la temperatura y la presión en el interior de pozo y la mezcla de aditivos que se agregaron. Algunos aditivos aceleran el tiempo de fraguado, mientras que otros lo retardan. Algunos cementos modernos fraguan con relativa rapidez, mientras que otros tardan hasta dos semanas en alcanzar la máxima resistencia. Las características litológicas también pueden influir en el tiempo de fraguado. Cuando las formaciones son de arena, la adherencia puede completarse varias horas antes que en formaciones de lutitas. Una posible explicación para este fenómeno es que la lechada pierde agua en las secciones de arena permeable y fragua con mayor rapidez. De todas formas, el tiempo de fraguado es un elemento importante para determinar el momento adecuado para correr un perfil de adherencia de cemento.

## 7.2 Espesor del anillo de cemento

Debido a los estudios acerca de los revestimientos mínimos efectivos de cemento para respuestas de perfil de adherencia; gracias a dicho estudio, se elaboró la tabla incluida en la Figura N° 17 mostrada a continuación. Allí se muestra que la atenuación de una señal acústica disminuye rápidamente cuando el espesor del anillo de cemento es menor a  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Esta condición provoca amplitudes más elevadas que las esperadas para una buena adherencia, y puede presentarse cuando el casing está descentrado.

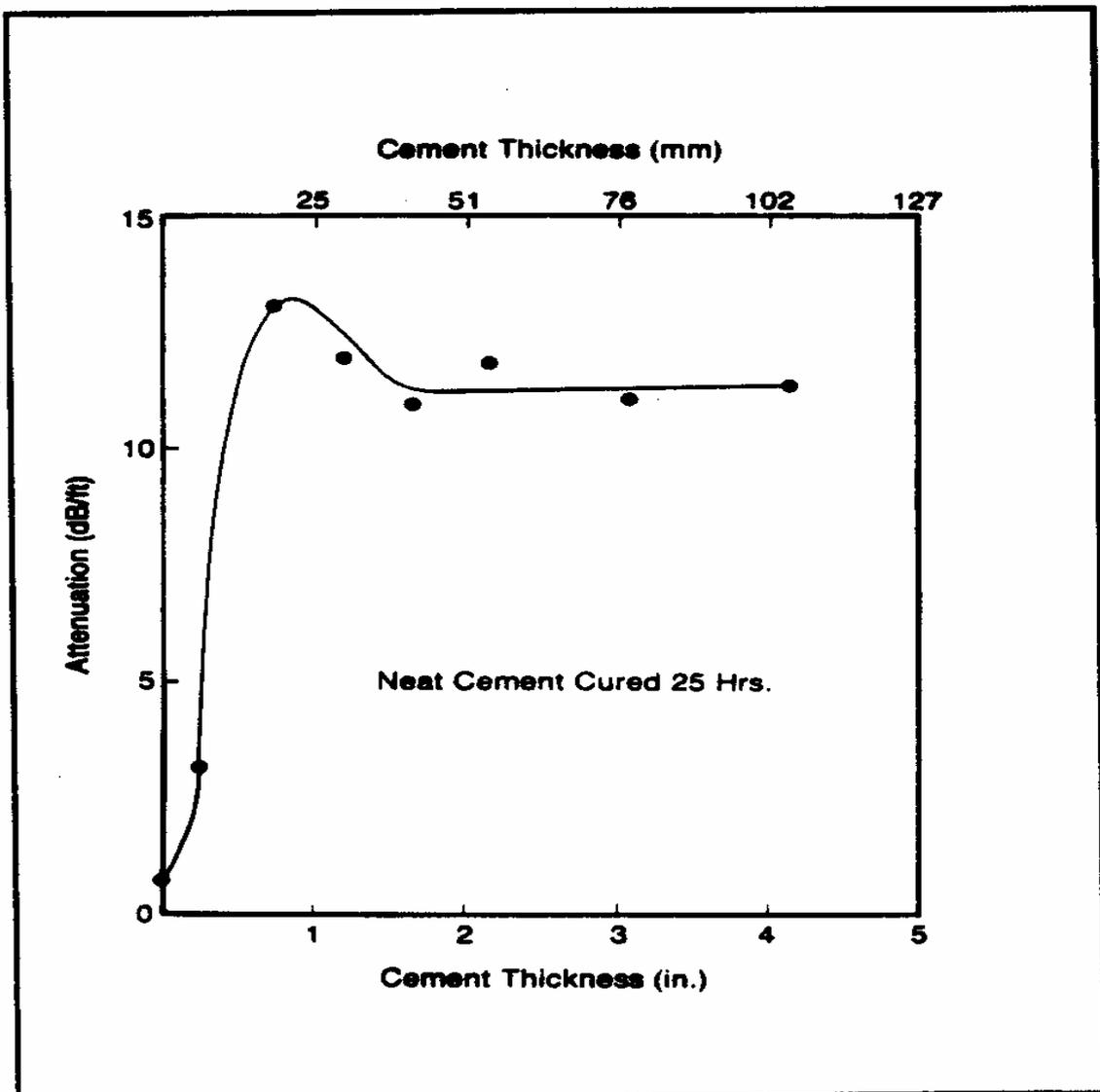


Figura N° 17.

Espesor del cemento vs. Atenuación

### **7.3 Formaciones rápidas**

Se denomina formaciones rápidas a aquellas formaciones cuyos arribos ocurren antes o aproximadamente al mismo tiempo que los de tubería. Las rocas calizas de baja porosidad y las dolomitas son ejemplos de formaciones rápidas

La anhidrita y el yeso también se consideran formaciones rápidas. A medida que la señal de la formación ingresa a la compuerta de amplitud, la amplitud medida se convierte en la de la formación en vez de la del casing. Esto suele provocar una amplitud más elevada que la necesaria para una buena adherencia y puede ser interpretada erróneamente como una mala adherencia si no se reconoce el efecto de la formación rápida. Es posible emplear la curva de tiempo de tránsito para reconocer estas formaciones, dado que indicará un tiempo de arribo más corto que el del casing. La evaluación del perfil VDL también puede ser de utilidad para identificar formaciones rápidas.

### **7.4 Microanillo**

Un microanillo es una pequeña brecha, de entre 5 y 10 mm., ubicada entre el casing y el anillo de cemento. El cemento no está adherido a la tubería, pero el espacio anular entre el casing y el cemento está bien cementado. El trabajo de cemento, bajo condiciones normales de producción, es suficiente para formar un sello hidráulico y evitar la migración del fluido por detrás de la tubería.

El microanillo puede producirse por una variedad de factores:

- Al mantener presión en el casing hasta que el cemento ha fraguado y luego permitir que la tubería se contraiga al liberar la presión.
- Expansión termal de la tubería durante el fraguado del cemento.
- Contracción termal de la tubería como resultado del llenado del pozo con fluidos más fríos antes del perfilaje.
- Operaciones de inyección de cemento.
- Reducción de la densidad del fluido durante el perfilaje

Bajo dichas condiciones, la amplitud arrojaría resultados pesimistas, Un método para determinar la existencia de un microanillo consiste en volver a correr el perfil aplicando presión de superficie adicional al casing. Si existe un microanillo y se

aplica suficiente presión de superficie, la curva de amplitud resultante exhibirá un valor más bajo que en el primer perfil. Algunos operadores emplean el valor de 1000 psi como medida estándar para presurizar el casing. La presión exacta necesaria para eliminar el efecto de microanillo en el perfil puede obtenerse mediante el monitoreo de la curva de amplitud con el perfil ubicado en un intervalo sospechado de microanillo mientras se aplica presión. La amplitud comienza a disminuir con el aumento de la presión hasta que el casing se expande y cierra la brecha, luego se mantiene constante en valores bajos. Cuando se mantiene constante, significa que se ha aplicado suficiente presión.

## **8.-ATENUACION DE LA SEÑAL ACUSTICA**

### **8.1 Burbujas de gas en el fluido del pozo**

Las burbujas de gas en el fluido del pozo pueden provocar una atenuación de la señal acústica. La cantidad de atenuación aumenta a medida que se incrementa el volumen de gas; en casos extremos, la señal acústica puede resultar eliminada por completo. La solución para este problema consiste en aumentar la altura hidrostática, de modo tal de eliminar las burbujas de gas. En ocasiones, esto se puede lograr simplemente llenando el pozo con fluido. En la Figura N° 18 se muestra un perfil afectado por las burbujas de gas y una segunda pasada luego de la aplicación de presión de agua durante dos horas.

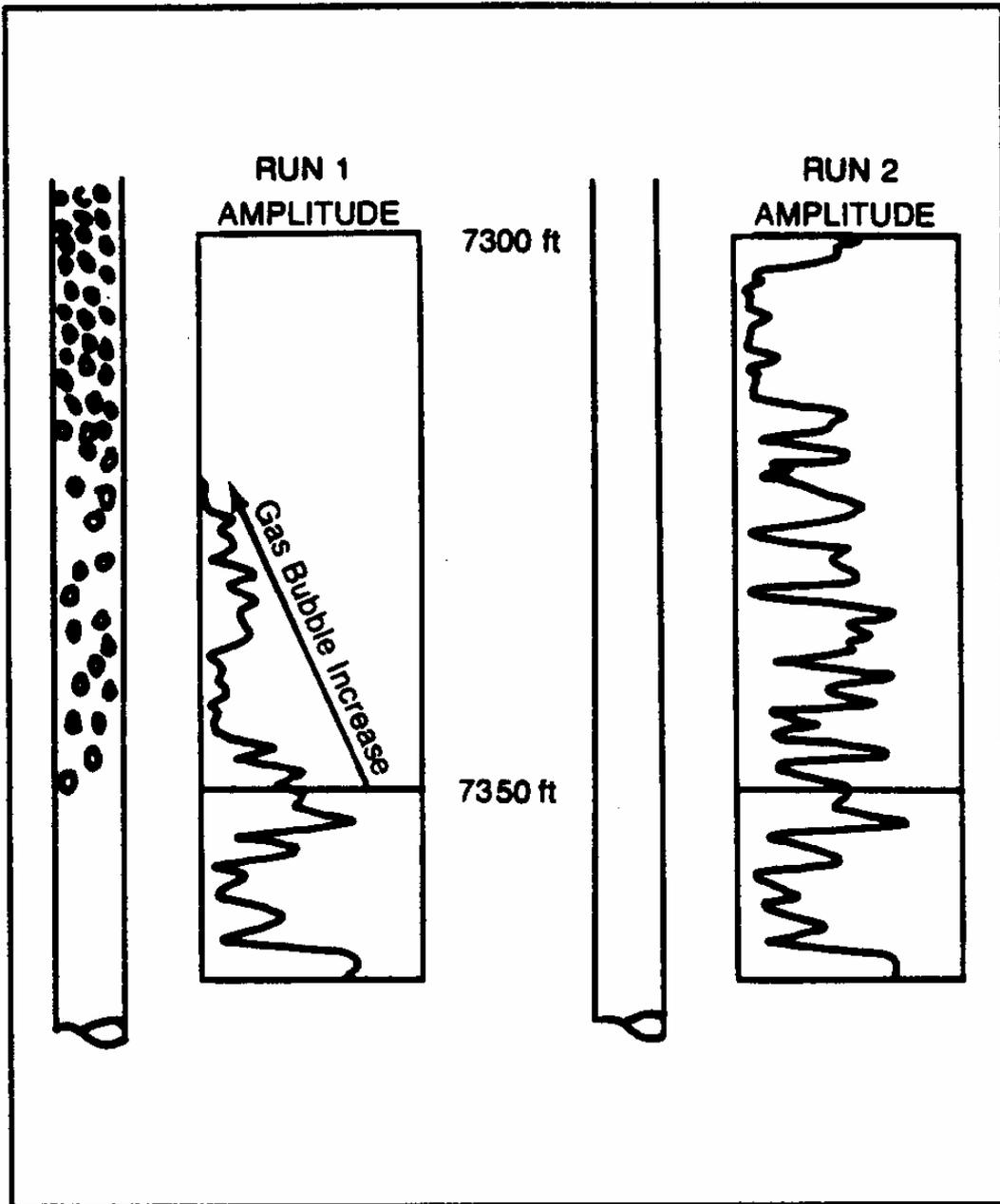


Figura N° 18. Las burbujas de gas (aire) en el fluido que se encuentra en el interior del pozo amortiguan (o incluso eliminan) las señales acústicas

## **9.-CASING REVESTIDO DE ARENA CON RESINA**

En ocasiones, varios tramos de casing cerca del fondo del pozo se recubren con una sustancia de resina con arena, llamada “revoque grueso”, que se emplea para obtener una mayor adherencia entre el casing y el cemento. Generalmente, una gran cantidad de burbujas queda atrapada en la resina, lo que provoca una indicación de mala adherencia en el perfil, aunque la adherencia sea buena.

Algunos ensayos de campo muy detallados han demostrado que este efecto es más severo cuando estos revestimientos son gruesos (entre 50 y 70 mm), y que los revestimientos más delgados (10 a 30 mm) no afectan las mediciones del CBL.

## **10.- PREPARACION DEL POZO PARA EL PERFILAJE DE CEMENTO**

Es necesario destacar la importancia de la preparación del pozo para el perfilaje de cemento. A menos que el perfil de adherencia del cemento se registre con la presión del fluido correcta en el intervalo de casing a perfilar, existen pocas posibilidades de que el perfil defina correctamente la cantidad de llenado de cemento en el espacio anular. Todos los perfiles acústicos de adherencia del cemento dependen del estrecho contacto entre el cemento en el espacio anular y la pared exterior del casing para determinar el llenado de cemento. Cuando ese contacto estrecho se rompe (aún en una proporción mínima) y se crea un microanillo, los datos de perfilaje indican (erróneamente) una disminución del cemento en el espacio anular. En tal situación, la herramienta de perfilaje realiza una medición exacta según la manera en que fue diseñada, pero la información registrada no es representativa de la respuesta que se busca, es decir, el llenado de cemento en el espacio anular. Si se comprenden los procedimientos que provocan la falta de adherencia entre el cemento y el casing, es posible aplicar buenos procedimientos de preparación, los que a su vez permiten que el perfil de adherencia del cemento defina con precisión el llenado de cemento.

Todo procedimiento que incremente o disminuya la presión del fluido del casing luego del fraguado del cemento en el espacio anular ejerce dos fuerzas sobre la unión cemento-casing. Cuando estas fuerzas son lo suficientemente intensas, la unión cemento-casing se rompe.

## **10.1 Procedimientos que producen la rotura de la unión cemento-casing**

Un análisis de los procedimientos que producen la rotura de la unión cemento-casing señala que existen dos categorías:

**a)** Primera categoría: consiste en la disminución de la presión luego del fraguado del cemento en el espacio anular. Los procedimientos habitualmente utilizados que provocan esa disminución de presión son:

- El desplazamiento con un fluido de casing más liviano que el existente durante el fraguado del cemento.
- El mantenimiento de la presión del fluido de casing en la cabeza del pozo para evitar un contraflujo durante el fraguado del cemento, con la posterior liberación de esa presión luego del fraguado.

Cuando se produce esa disminución en la presión de fluido de casing, éste se contrae y se alarga, esto ejerce esfuerzos de tracción y de corte en la adherencia del cemento. Cuando estas fuerzas son lo suficientemente grandes, la adherencia se rompe. Un perfil de cemento registrado bajo estas condiciones de pozo no representa con precisión el llenado de cemento en el espacio anular.

**b)** La segunda categoría: consiste en el aumento de la presión del casing con la subsiguiente reducción luego del fraguado del cemento. Como ejemplos de tales casos de variación de presión se citan:

- El aumento de la presión en cabeza de pozo para probar un tope de liner, un preventor de reventones, un Hydril o un árbol de surgencia.
- El aumento de la presión en cabeza de pozo para determinar si hay pérdidas en el casing.
- La cementación a presión
- El aumento de la presión de bomba para circular el fluido de casing.

Cuando se produce ese incremento en la presión del fluido de casing, éste se expande y se acorta, los esfuerzos que se ejercen sobre la unión cemento-casing son de compresión y de corte. Cuando estos esfuerzos se tornan lo suficientemente intensos, la unión se rompe; al liberarse la presión aumentada, se aplican esfuerzos de tracción y de corte a la unión cemento-casing a medida que el casing se contrae y se alarga; el

casing de acero vuelve a su configuración original luego de ese ciclo de aumento-reducción de la presión.

La experiencia con muchos perfiles de adherencia de cemento indica que el cemento fraguado no vuelve a su configuración original; un perfil de adherencia de cemento registrado luego de tales variaciones de presión no constituye una representación fiel del llenado de cemento en el espacio anular.

En cualquiera de las dos categorías descritas precedentemente, la solución para lograr datos significativos de perfiles de adherencia de cemento consiste en realizar el perfilaje del pozo aplicando presión desde la cabeza de pozo sobre el fluido de casing.

### **10.2 Procedimiento de perfilaje de pozo aplicando presión desde la cabeza de pozo sobre el fluido de casing**

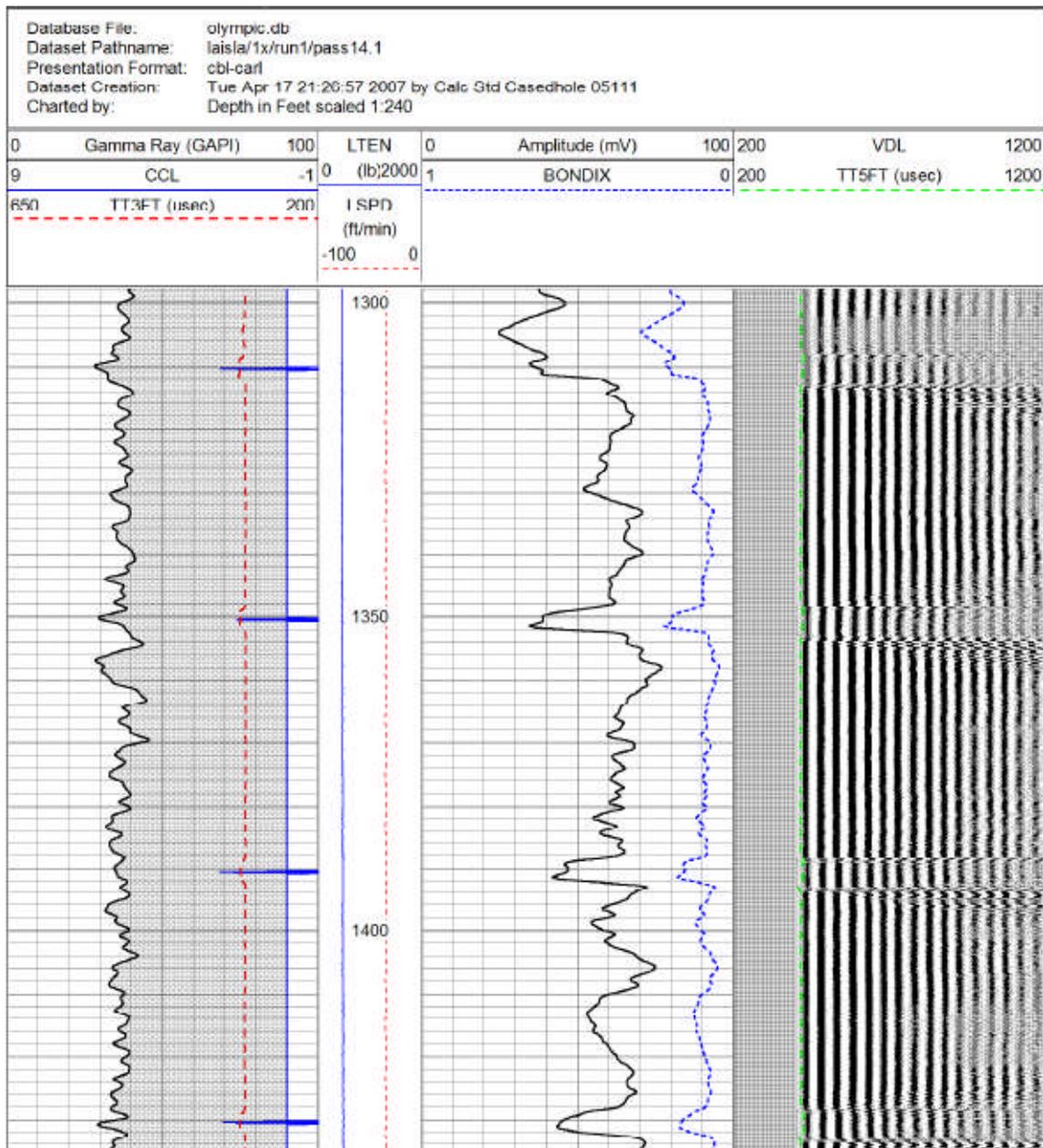
El procedimiento recomendado consiste en:

- 1.- Investigar el historial del pozo para determinar cuál fue la máxima presión de fluido de casing ejercida sobre el mismo desde el fraguado del cemento anular.
- 2.- Instalar equipamiento de cable (wireline) para control de presión en la cabeza del pozo antes de bajar la herramienta de perfilaje de cemento. Este equipamiento debe ser el adecuado y tener una capacidad de 1000 psi por encima de la máxima presión obtenida del historial del pozo.
- 3.- Perfilar una sección de 200' a través de la zona a estudiar, sin presión alguna en la cabeza de pozo. Esto brinda un perfil de base que servirá para confirmar si los perfiles subsiguientes, registrados con presión aplicada en cabeza de pozo, tienen un efecto positivo.
- 4.- Incrementar la presión en cabeza de pozo al máximo determinado según el punto 1 precedente, mientras se vuelve a perfilar el intervalo de 200'.
- 5.- Si la amplitud de la señal del casing disminuye pero no se obtiene la adherencia adecuada, entonces, si es posible, se debe aumentar la presión en cabeza de pozo en 1000 psi y perfilar todas las zonas de interés manteniendo esta presión en la cabeza de pozo. Utilizar los datos de perfilaje para la interpretación.

## 11.-INTERPRETACION DE PERFILES

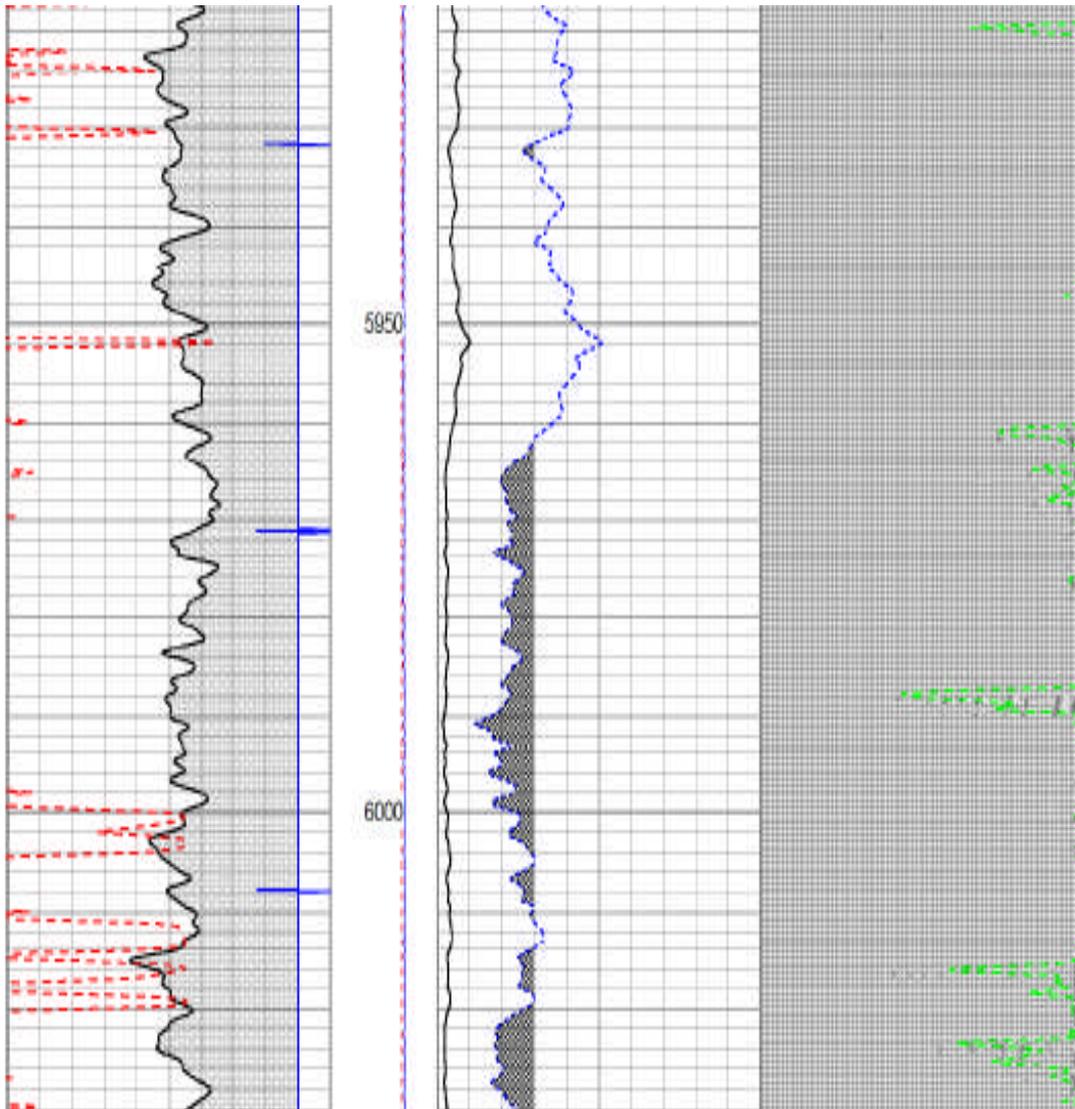
A continuación se muestran interpretaciones de perfiles realizados en las diversas compañías operadoras del Noroeste Peruano

### 11.1 Perfil de Tubería Libre.



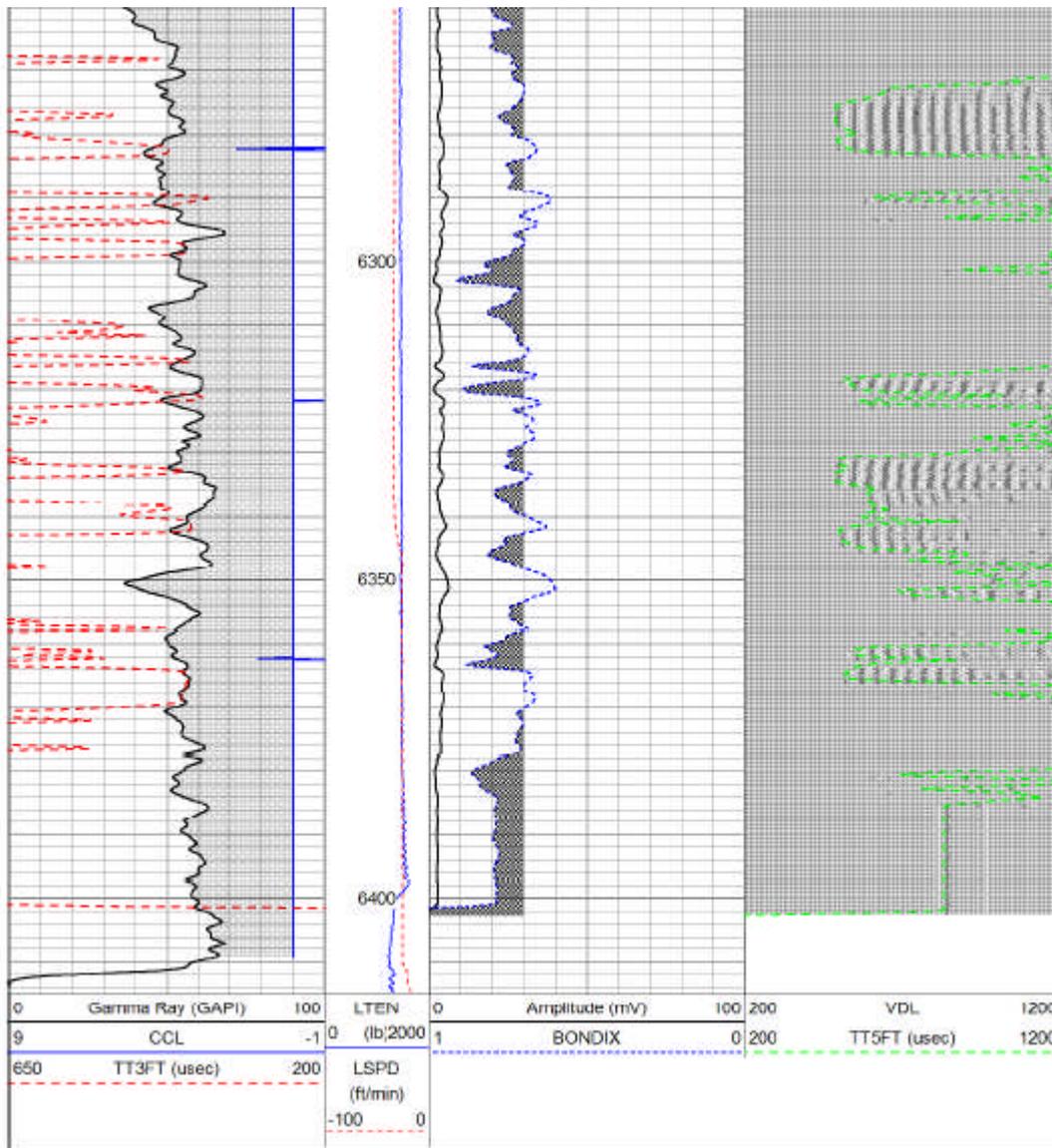
En este perfil observamos nitidamente los arribos de caneria libre ,asi como los efectos chevron en cada una de las cuplas.Se observa tambien los tiempos de transito de los receptores de 3 y 5 pies como lineas rectas con deflexiones en cada uno de los collares

## 11.2 Perfil de Buena Adherencia.



En este tramo del pozo ,podemos observar una buena adherencia de casing cemento y cemento formacion,la curva de bond index indica una cementacion perfecta desde 5964 hasta 6030 pies,el travel time muestra valores muy altos fuera de escala por la baja atenuacion debido a la buena adherencia

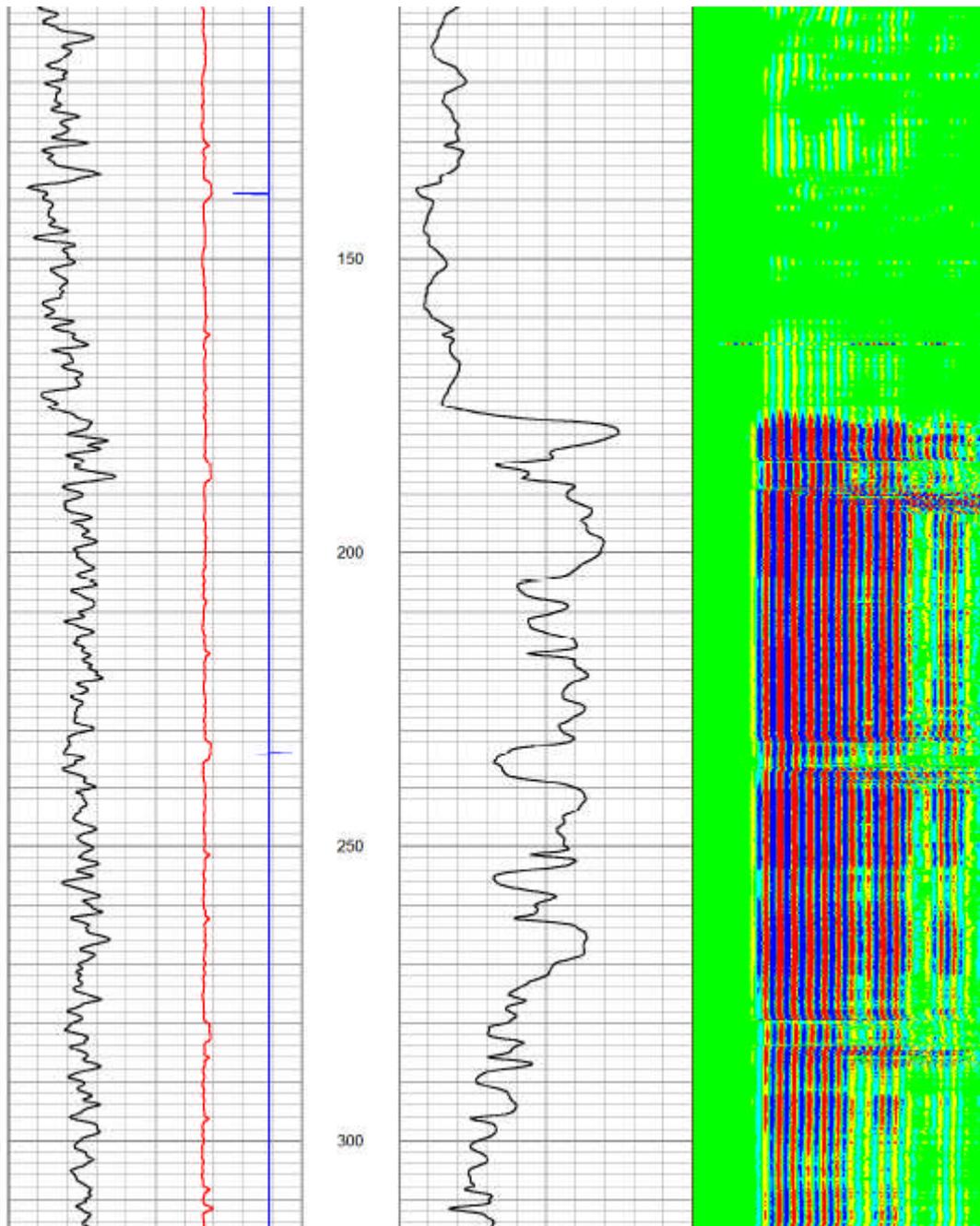
### 11.3 Perfil de Buena Adherencia con arribos de formación.



Aquí se muestra un típico perfil de buena adherencia con arribos de de formación(esto se nota claramente en el track 3),ademas la importancia de tener 2 receptores porque el receptor espaciado a 5 pies mediante el TT5FT(travel time de 5 pies ) permite una lectura clara de los arribos de formación.

La mayoría de presentaciones convencionales de registros CBL-VDL no muestran el BONDIX y el TT5FT.Queda comprobado que cuanto mas curvas tengamos estas nos ayudan a dar una mejor interpretacion de los resultados que necesitamos obtener.

#### 11.4 Perfil de baja calidad.



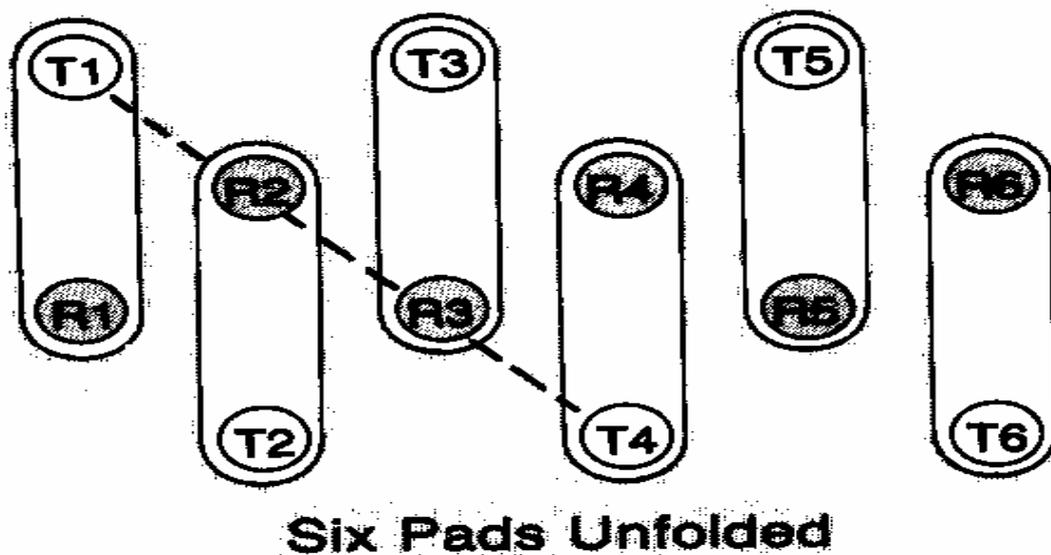
Este perfil se tomo como prueba en un pozo ,bajando sin centralizadores,muestra claramente como la curva de TT3FT en el track 1 no es una linea recta ,sino una lina muy estadistica,esto debido a la falta de centralizacion de la herramienta.

Debido a que no aprueba los controles de calidad para perfiles de CBL-VDL se declara como un perfil invalido y su interpretacion es erronea

## 12.- MEDICION DEL PERFIL CON EL INSTRUMENTO DE MEDICION DE SECTORIZACION DE ADHERENCIA DE CEMENTO (SBT)

El SBT emplea un sistema que consta de seis patines con el mandril y los brazos articulados correspondientes, con el fin de generar seis segmentos totalmente compensados de mediciones de atenuación acústica *sobre la pared del casing*. Cada segmento abarca un arco exacto de 60 grados, para lograr una cobertura completa de toda la circunferencia del casing sin interferencia de los segmentos adyacentes.

La figura N° 19 que se muestra a continuación es una representación de los patines desplegados. Cada uno de los patines aloja un transmisor y un receptor. La siguiente es la secuencia de las mediciones tomadas: 1, 2, 3, 4, 5, 6.



Fi

Figura N° 19: Imagen de los Seis Patines Desplegados.

La siguiente es la configuración de los sub-ciclos individuales: El transmisor del patín 1 emite y se observan recepciones (mediciones de amplitud) en los receptores de los patines 2 y 3. En el segundo sub-ciclo, el transmisor del patín 4 emite y se observan recepciones en los patines 3 y 2. Las cuatro amplitudes se combinan para producir una medición de atenuación totalmente compensada para incorporar las variaciones de sensibilidad del receptor y de *output* del transmisor.

La atenuación se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Atenuación} = -10 \log \frac{T_1 R_3 * T_4 R_2}{T_1 R_2 * T_4 R_3}$$

Los diez sub-ciclos siguientes se completan de manera similar y se reinicia la secuencia.

A medida que aumenta la distancia entre el transmisor y los receptores 2 y 3, la intensidad de la energía disminuye. Los receptores advierten que existe una pérdida. Estas son pérdidas de separación y no están relacionadas con la atenuación del sonido que produce en casing en el cemento.

Por lo tanto, para lograr una medición absoluta de las pérdidas producidas por la presencia del cemento, se deben restar las pérdidas de separación de las pérdidas medidas antes de la presentación. El valor teórico de DBSP es 3/espaciado (Ver Fig. N° 20).

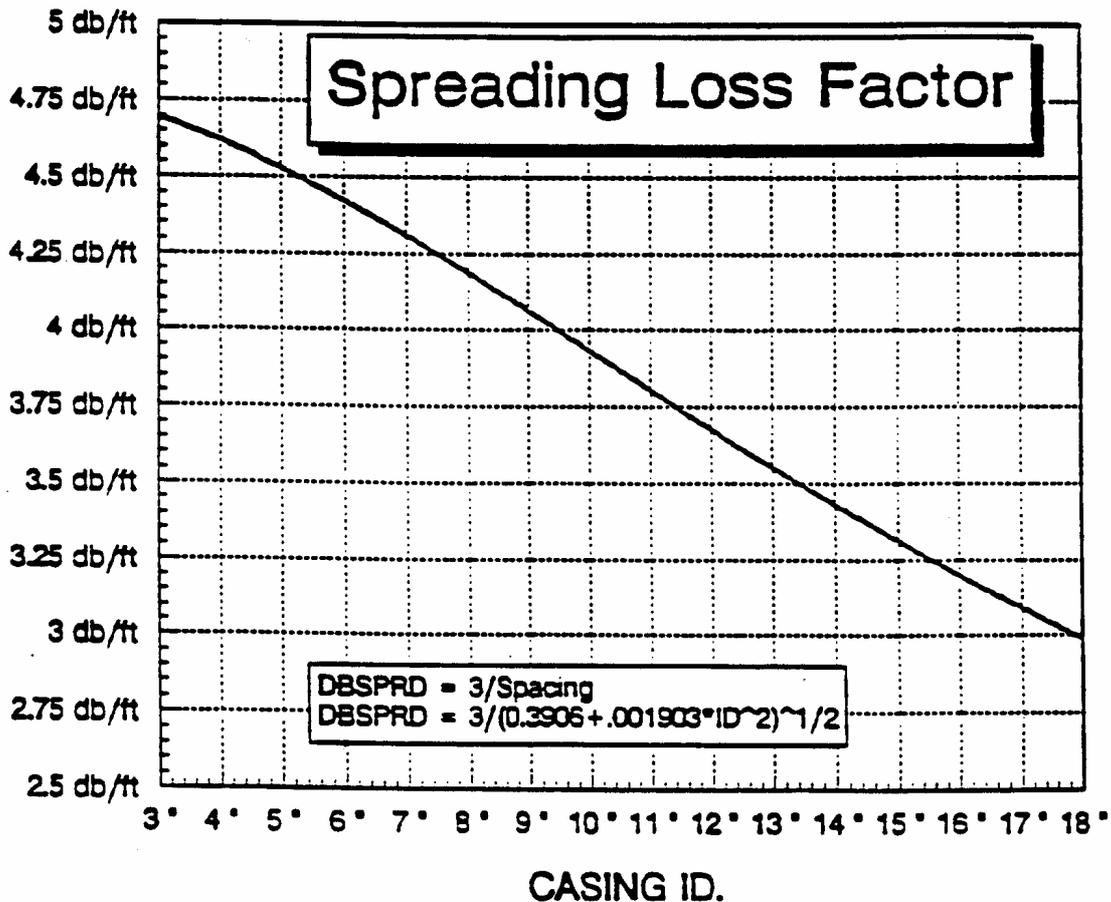


Figura N° 20 Grafico de perdidas de atenuacion para cada diametro de casing

Por debajo de la sección del patín del instrumento se encuentra la sección del VDL. Dicha sección está constituida por un par de transmisor/receptor con un espaciado de 5 pies. De esta sección proviene la forma de onda completa que se utiliza principalmente para la evaluación de la adherencia del cemento a la interfaz de la formación. Todas las reglas estándar para la interpretación de formas de onda convencionales de 5 pies son aplicables.

### 12.1 Ventajas del sistema de patines

El sistema de patines del SBT cuenta con numerosas ventajas en comparación con los sistemas convencionales, dado que las mediciones de atenuación se realizan en patines colocados en la pared interior del casing con espaciados cortos.

Las mediciones del tiempo de tránsito de los instrumentos convencionales son, básicamente, variaciones del tiempo de trayectoria del lodo debido a la descentralización del instrumento o a los cambios en la composición del lodo. Estas

mediciones se utilizan principalmente como indicación de las condiciones de centrado del instrumento. Debido a que el SBT emplea patines, este tipo de medición no tiene sentido, porque no existe trayectoria de lodo.

El sistema SBT *no se ve afectado por la descentralización de la herramienta* excepto en aquellas situaciones extremas en las que los patines resultan comprimidos entre sí en el fondo de un pozo con una desviación muy aguda. Esta condición se observa en las curvas de DTMN y DTMX. No es probable que esto suceda a menos que el pozo supere un ángulo de 60 grados, y aún así los separadores de los rodillos corrigen el problema.

Cabe reiterar que, gracias a los patines, el SBT tiene una *gran tolerancia a los diferentes sistemas de lodo*. El instrumento de tipo pulso-eco no cuenta con esta ventaja, dado que no puede brindar resultados válidos en lodos muy densos o inyectados con gas. Por otra parte, los instrumentos convencionales no operan en forma adecuada con lodos inyectados con gas.

Los espaciados de los patines del SBT son cortos (de 6 pulgadas a 1 pie), y dependen del tamaño del casing. Dado que las mediciones se toman en la pared del casing, los arribos de lodo no provocan interferencias. Esto permite utilizar espaciados cortos aún en tuberías de gran diámetro.

La ventaja del espaciado de los patines del SBT consiste en que los arribos provenientes de formaciones cuyo tiempo de tránsito es bajo (formaciones rápidas) no cuentan con la suficiente distancia para adelantarse a los arribos que se desplazan por el casing. Por lo tanto, *el instrumento no es afectado por los arribos de formaciones rápidas*. Sin embargo, existen excepciones, especialmente cuando la trayectoria acústica a través del cemento es corta. Si hay un anillo de cemento delgado entre el casing y la formación rápida, existe una posibilidad teórica de arribos provenientes de formaciones rápidas.

Las mediciones convencionales abarcan un promedio de circunferencia de 360 grados, generalmente en un espaciado de tres pies entre transmisor y receptor. Los huecos y canales pequeños se pierden con facilidad en el promedio. El SBT *produce seis mediciones discretas*

*compensadas de atenuación, cada una de las cuales tiene una amplitud de 60 grados.* Estas mediciones son cuantitativas, el tamaño mínimo de canal que puede detectar la medición es de 60 grados; sin embargo, es posible detectar canales más pequeños, pero no se observa el rango dinámico completo de la medición.

A diferencia de las técnicas de tipo pulso-eco, el SBT realiza un *examen completo de la pared del casing*. Los dispositivos de tipo pulso-eco o de reflexión radial utilizan un transductor que actúa como transmisor y receptor al mismo tiempo. Se envía un pulso acústico a la pared del casing, y luego regresa la reflexión de dicho pulso. Debido a la curvatura de la pared del casing, solamente regresan las reflexiones que están directamente enfrente del transductor. Las restantes se reflejan según el ángulo de incidencia.

### 13.-CURVA DE ATENUACION (ATC)

Existen seis curvas de atenuación individuales: ATC1,ATC2,ATC3,ATC4,ATC5,ATC6. El valor de AATn se calcula mediante la fórmula de atenuación que ya se ha descrito. ATCn se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$ATC_n = ATU_n + CATTN_n$$

Donde:

$$ATU_n = \frac{-10 * \log AAT_n}{D} - DBSP$$

D = La distancia entre los receptores cercanos y lejanos. Este parámetro variable se incorpora como resultado de los datos de parámetros de tubería.

DBSP = separación de db Este parámetro variable también se incorpora como resultado de parámetros de tubería.

CATTNn = factor de normalización para el sector n.

ATMN = Atenuación mínima. Es la menor de las seis curvas ATCn.

ATAV = Atenuación promedio. Es el promedio de las seis curvas ATCn.

AMAV = amplitud promedio derivada de la atenuación.

RB = Orientación relativa del sector 1 en grados desde “abajo”.

DEV = desviación en grados del plano vertical.

DTMN = Delta T\* mínima de los sub-ciclos (1...12) / D.

DTMX = Delta T\* máxima de los sub-ciclos (1...12) / D.

#### **14.- INTERPRETACIÓN DE PERFIL SBT**

Al realizar una presentación consolidada del SBT, pueden observarse todas las curvas, el VDL y el Mapa de Cemento sin necesidad de disponer dos perfiles lado a lado. La calidad de la adherencia del cemento al casing puede determinarse a partir de las curvas de atenuación. Cada una de las seis curvas de atenuación indica la calidad de la adherencia del cemento al casing en un segmento específico. Se debe observar una atenuación elevada, dependiendo de la resistencia a la compresión del cemento; si en una o más de las curvas de atenuación se advierte un valor menor, eso significa que falta cemento en esa área del casing, lo que suele suceder cuando existe un canal. En ese caso, la ATMN también tendrá un valor de atenuación menor que la ATAV. Si no hubiera cemento adherido al casing, todas las curvas de atenuación presentarían valores bajos.

El mapa de cemento es un perfil de atenuación variable. Se trata de una representación de la calidad del cemento en una circunferencia de 360 grados de la tubería de acuerdo a las mediciones de los seis segmentos de atenuación. Existen 5 sombreados diferentes: negro (adherencia de >80%), blanco (adherencia de <20%), y tres tonos intermedios de gris. Los valores de atenuación que determinan estos sombreados están relacionados con los valores de corte máximos y mínimos elegidos por el ingeniero. Cuando se ingresan a la computadora los parámetros de la tubería (tamaño, peso y resistencia a la compresión del cemento), se calculan los valores de corte empleando las ecuaciones determinadas en la figura 16 (tabla de interpretación del SBT) y se los presenta para su aprobación por parte del ingeniero. Aunque

estos valores predeterminados pueden ser aceptables para la mayoría de los casos, es posible que no se cuente con datos acerca de la resistencia a la compresión del cemento o que dicho valor no resulte ser el esperado por el proveedor del cemento.

Se debe realizar un análisis del perfil para determinar el valor de atenuación promedio más elevado (exceptuando las cuplas) y la atenuación que produce la tubería libre. Si no hubiera datos de tubería libre, pueden utilizarse los que se incluyen en la figura 16 (Tabla de Interpretación del SBT). La diferencia entre la atenuación que produce la tubería cementada y la que produce la tubería libre se denomina rango (span). El valor de 80% de este rango más la atenuación de la tubería libre y el valor del 20% del rango más la atenuación de la tubería libre (ambas cifras redondeadas al valor entero más cercano) pueden emplearse como corte máximo y mínimo respectivamente.

En tanto exista acuerdo con el cliente acerca de la manera de elegir estos valores y su significado, no deberían existir problemas. En ocasiones se solicita un mapa de cemento “en blanco y negro”, con el valor máximo de corte establecido como “buena cementación”. Esto puede realizarse para clientes específicos, seleccionando valores máximos y mínimos de corte muy cercanos (por ejemplo, 15 y 14,5 db/pie).

El VDL debe interpretarse en forma normal, de modo de determinar la calidad de la adherencia del cemento a la formación.

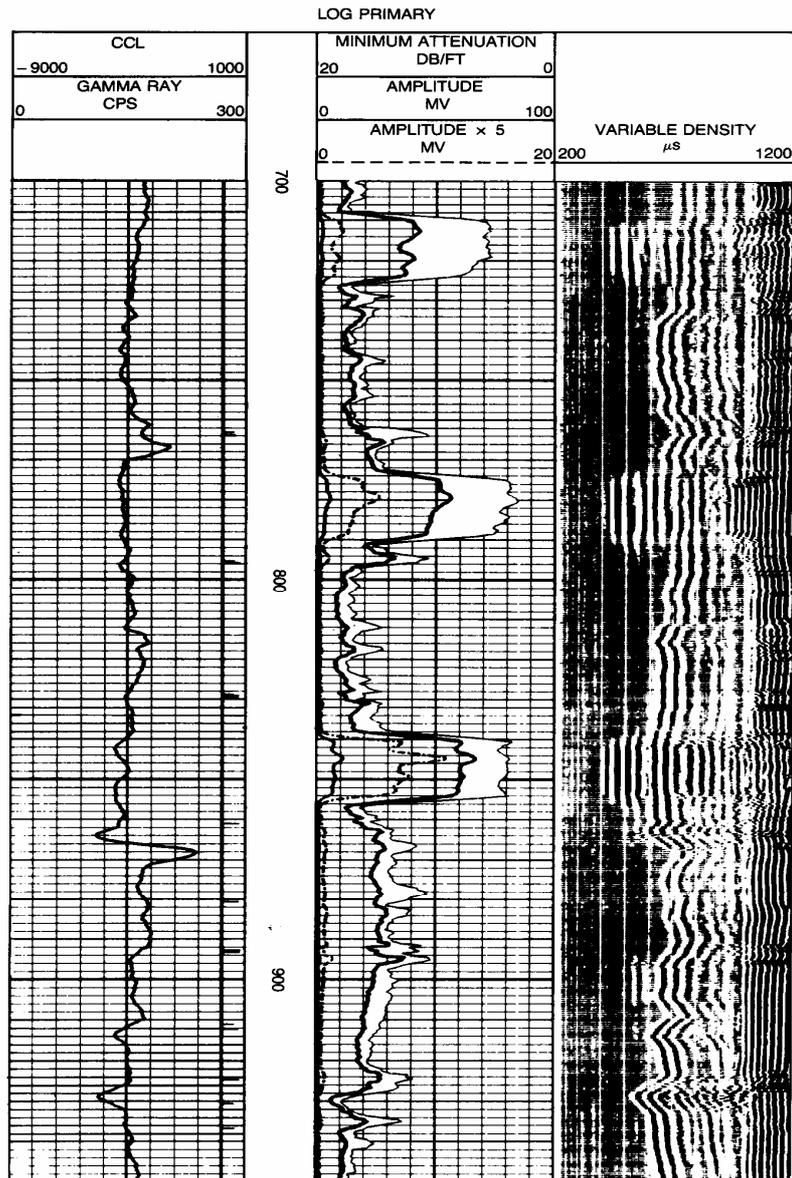
Las curvas DTMN y DTMX son curvas de control de calidad. Deben mantenerse relativamente cercanas. *Una separación amplia entre estas curvas indica que las compuertas pueden haberse desplazado, por lo que el perfil resulta inválido.* Este dato también puede indicar que se plegaron los brazos en un pozo muy desviado.



### 14.1- Presentación

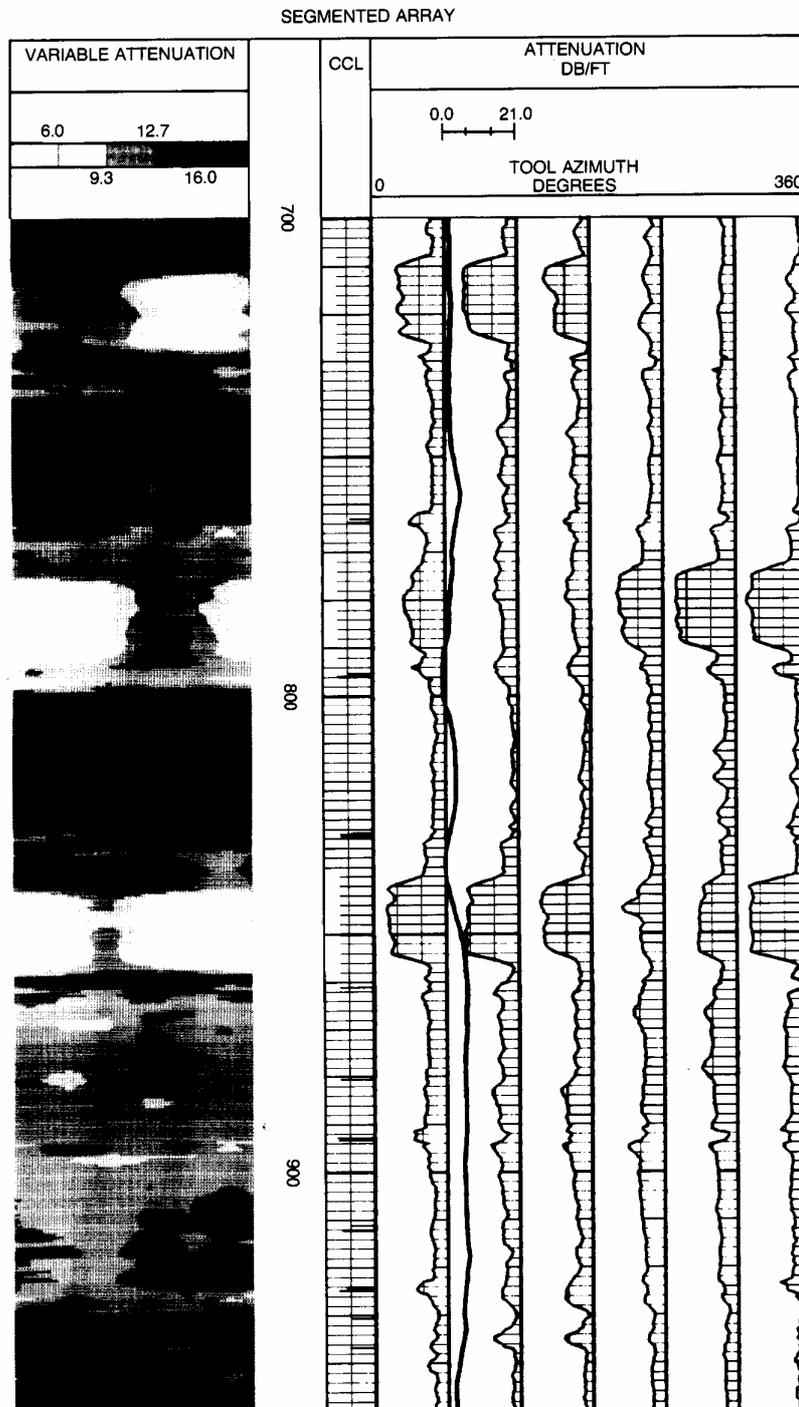
Existen dos presentaciones estándar para el SBT. La primera es una presentación primaria y la segunda es una presentación secundaria.

**Presentación primaria:** se observa GR y CCL en la pista 1. También es posible presentar DTMN y DTMX. Normalmente, la pista 2 contiene ATAV, ATMN, AMAV, and AMAVx5. El VDL se encuentra en la pista 3.



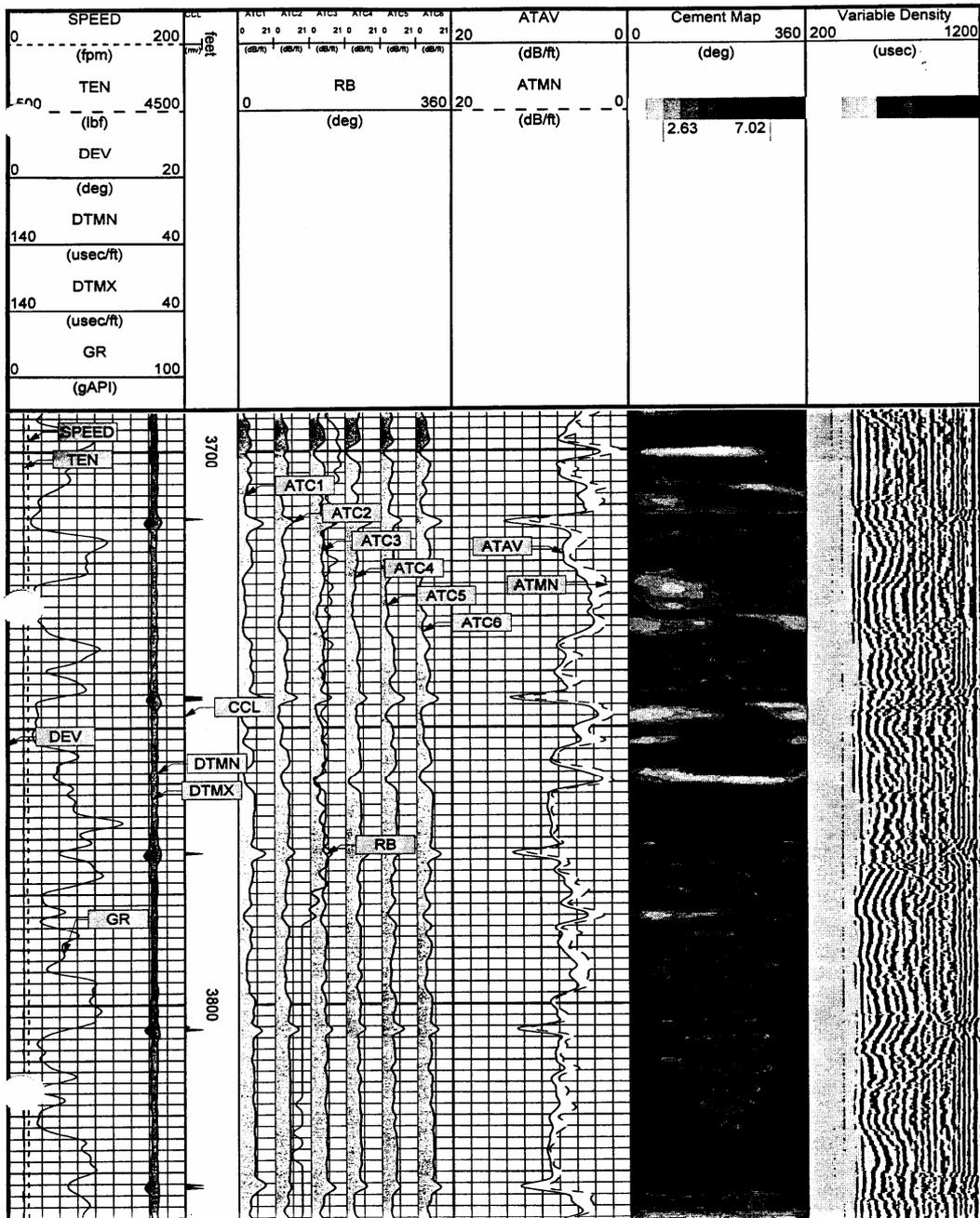
Presentación primaria

**Presentación secundaria:** incluye el mapa de cemento en la pista 1, y ATM1 a 6 y RB en la pista R. A menudo se presenta el CCL en la pista de profundidad de ambas presentaciones.



**Presentación secundaria**

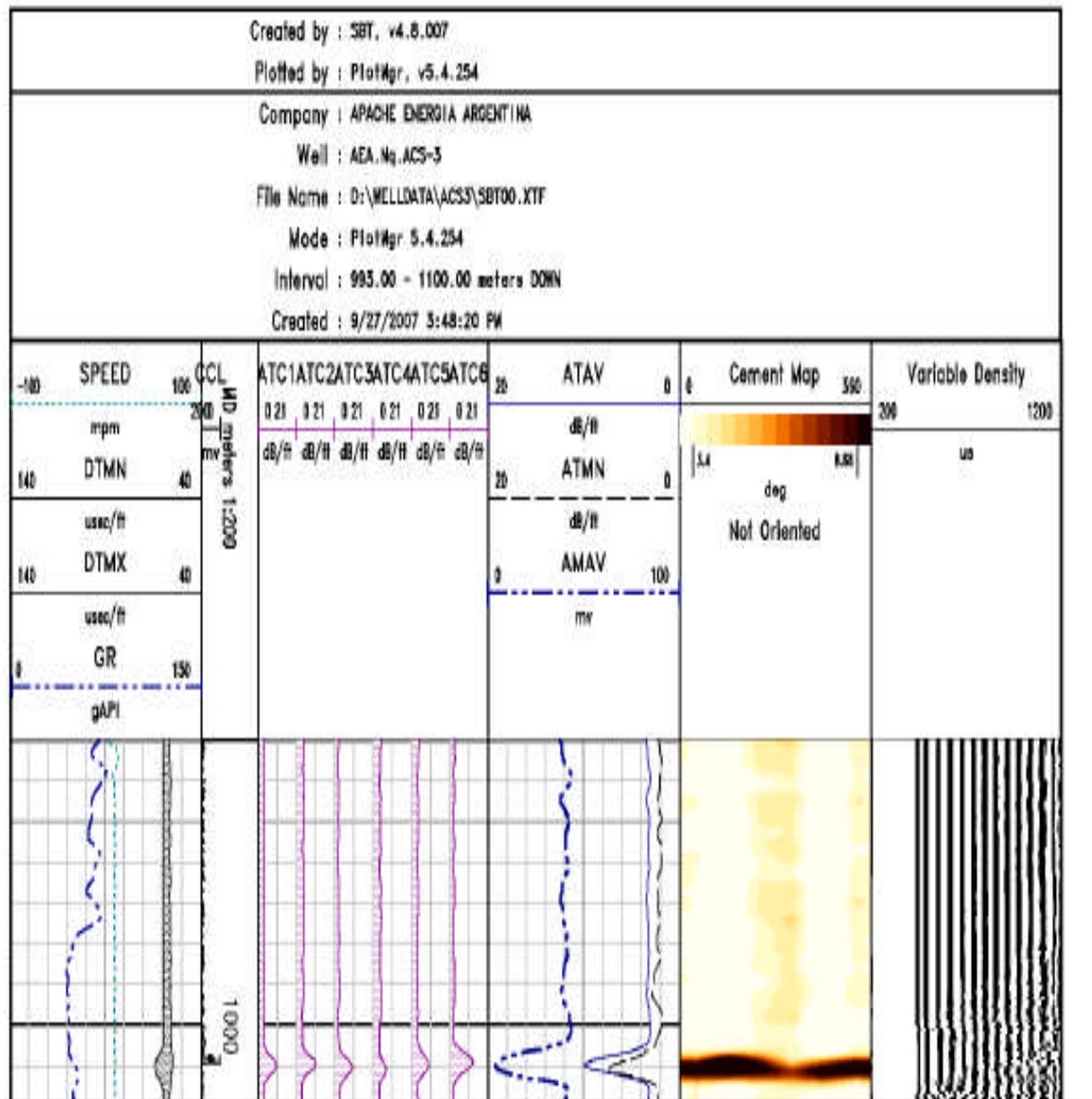
**Presentación Consolidada:** incluye todas las curvas en la misma página, y se la denomina “presentación consolidada”.



Presentación consolidada

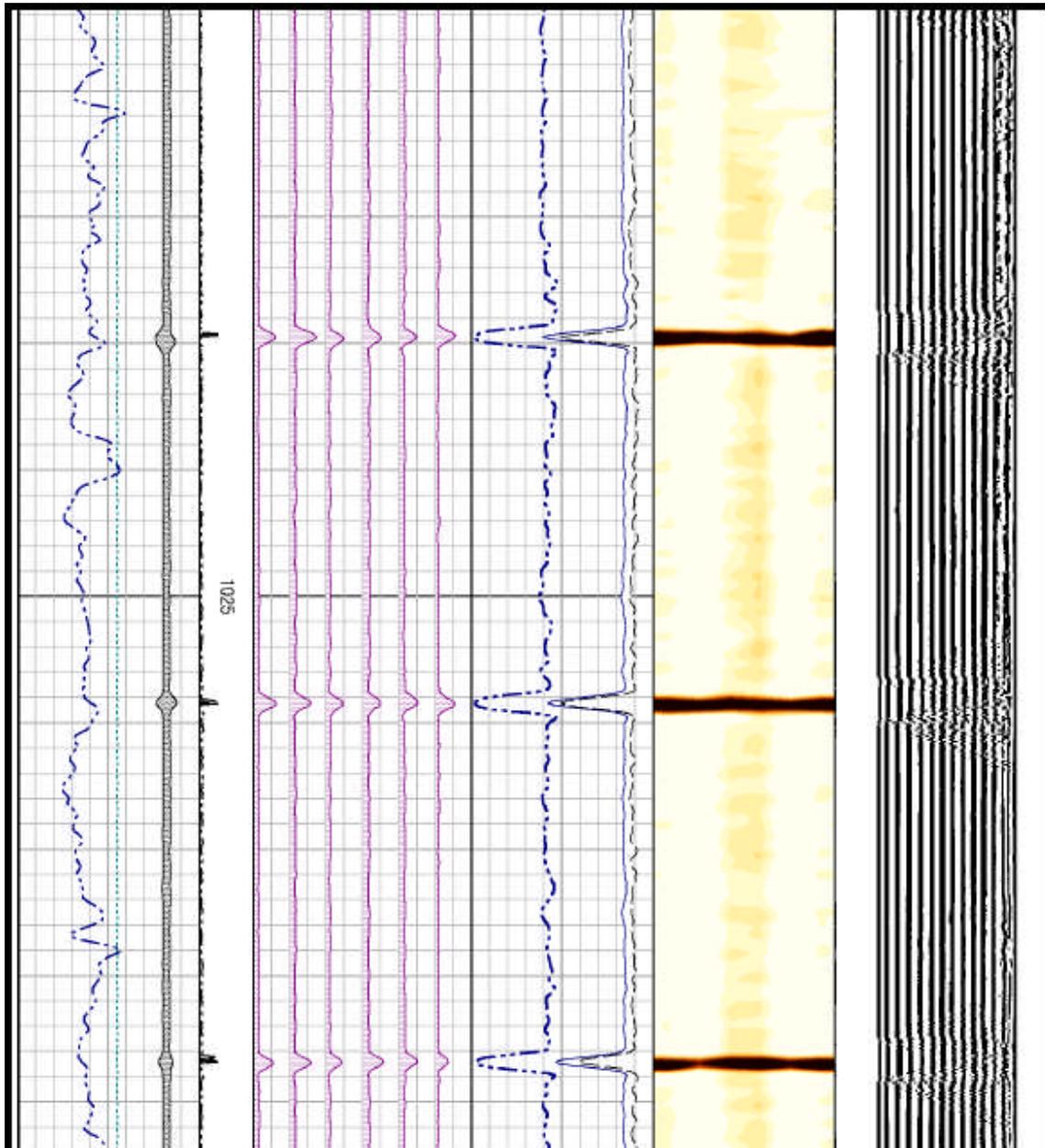
## 14.2 Trabajos de Campo

### 14.2.1 Presentación Standard



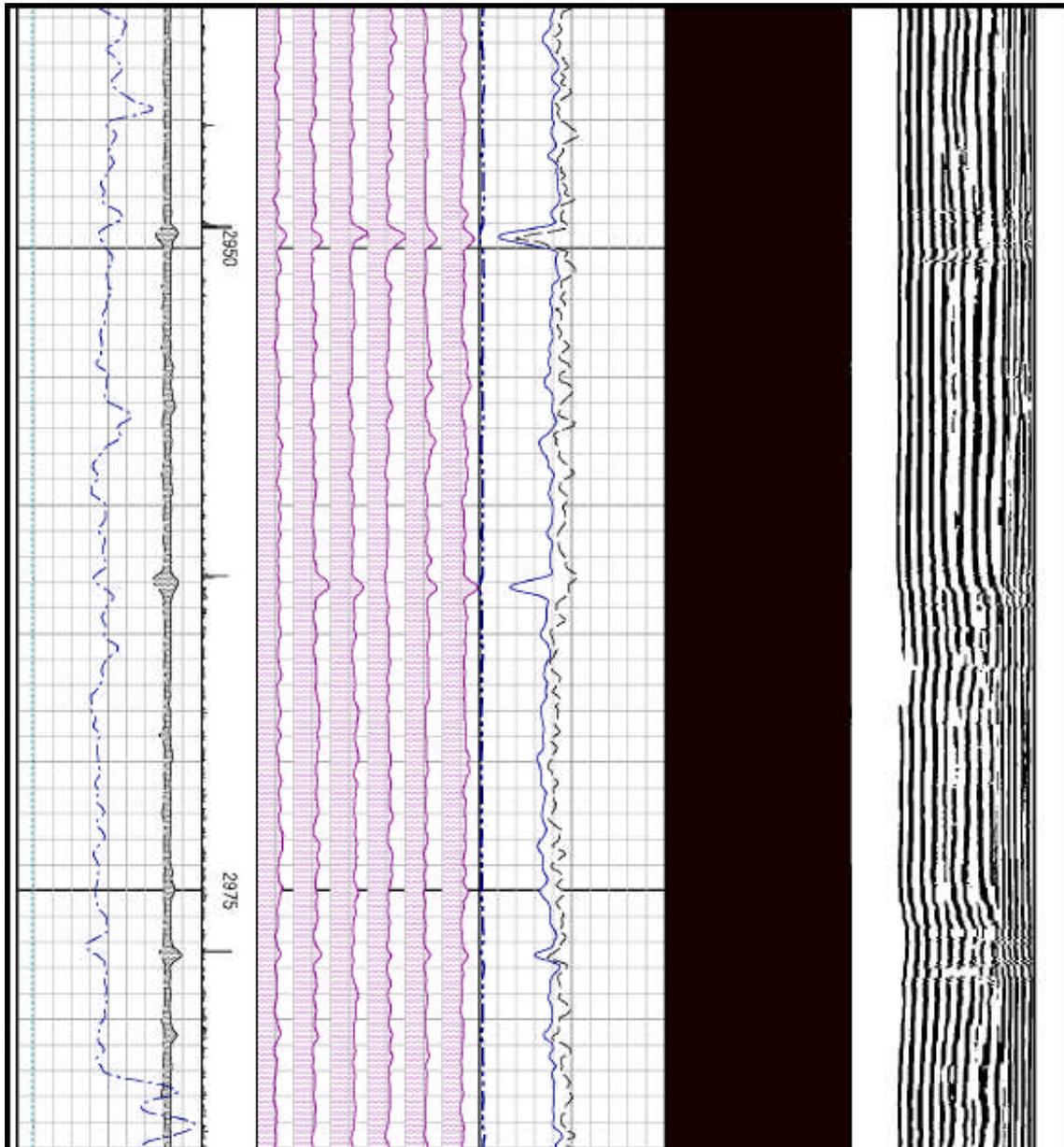
Perfil de la Compañía APACHE ENERGIA en Argentina, donde se muestra las curvas de :TMN,DTMX,GR,ATC1..ATC6,ATAV,ATMN,AMAV,CEMENT MAP y Variable Density

### 14.2.2 Perfil de tubería Libre



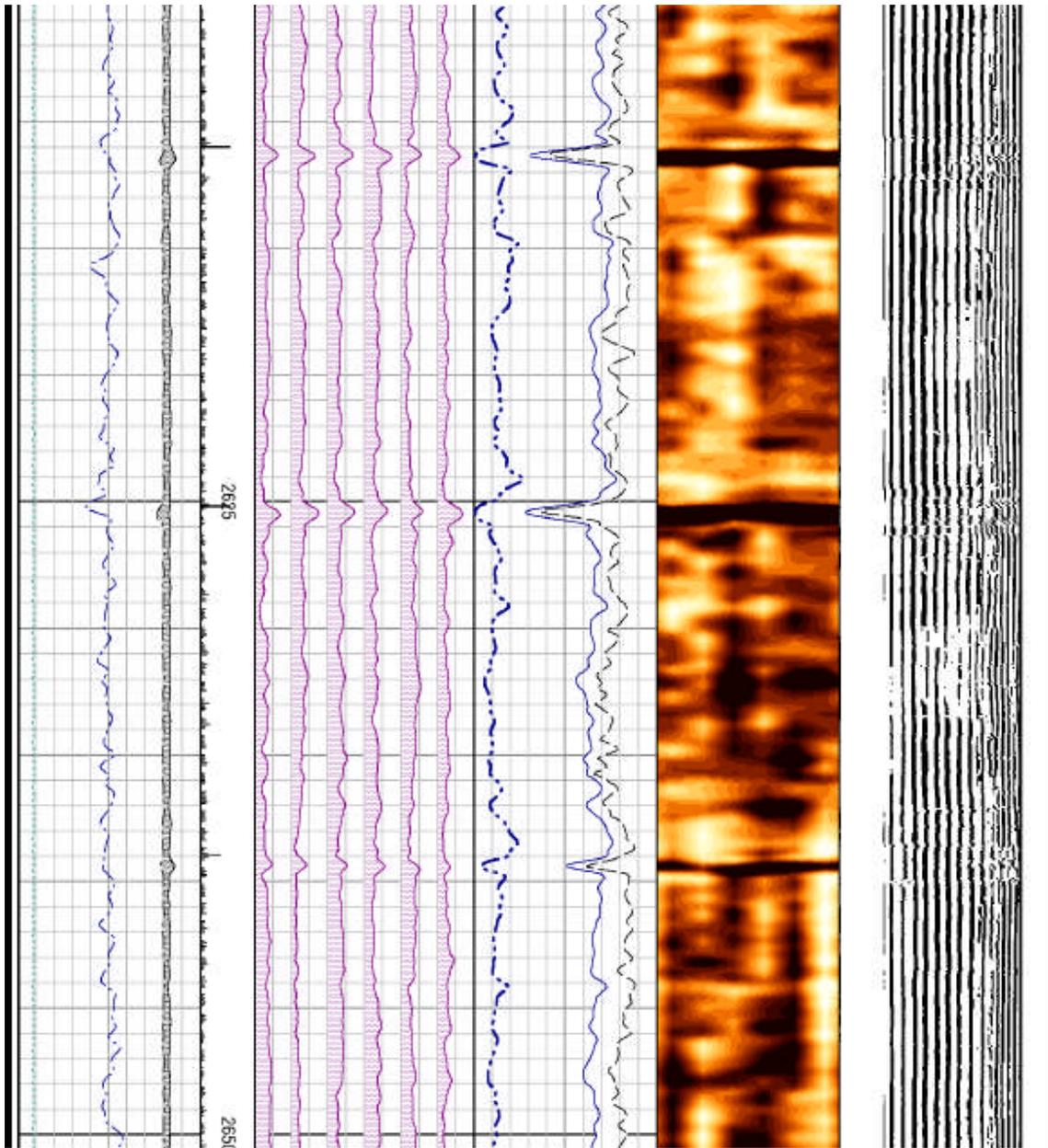
En esta presentación se nota claramente el efecto de los collares en tubería libre, cada una de las curvas de atenuación y amplitud presentan deformaciones en las zonas de collares, además en el mapa de cemento se observan líneas homogéneas y de una coloración mas intensa, esto además se verifica con la presentación del VDL mostrada en el track de la izquierda.

### 14.2.3 Perfil de buena adherencia de cemento



Este perfil nos muestra una adherencia perfecta, esto se refleja en cada una de las 6 curvas de atenuación, los arribos de formación del VDL y en el color oscuro uniforme del mapeo del cemento.

#### 14.2.4 Perfil de mala adherencia de cemento



El perfil muestra un contraste de colores en el mapa de cemento, esto se debe a la mala cementación vista en todo el intervalo mostrado



## **15.-CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO SBT**

### **15.1 Datos de muestreo**

El Instrumento de Medición de Sectorización de adherencia de Cemento 1424XA emplea el protocolo de comunicaciones 3504. Se envían 226 semipalabras de datos puros Manchester desde el instrumento en cada interrupción de profundidad. Entre los datos se incluyen los valores de GR, CCL, CN, acelerómetro X-Y, tiempo transcurrido, configuraciones de amplitudes y ganancias de todos los pares de transmisores y receptores y la forma de onda digitalizada del par de transmisor y receptor del VDL.

### **15.2 Calibración**

Antes de realizar una calibración / verificación, se debe establecer una comunicación confiable con el instrumento a través del SETCOM.

Además de las calibraciones necesarias para otros instrumentos incluidos en la sarta de herramientas, existen tres calibraciones / verificaciones específicas relacionadas con el servicio SBT. Se trata de la calibración SBT, de la calibración de orientación relativa y de las verificaciones de patines.

Cada sector emplea dos transmisores y dos receptores para producir una medición de atenuación. La atenuación resultante es independiente de las sensibilidades del receptor y de las eficiencias del transmisor. También se realiza una corrección de la medición incorporando la pérdida de separación. En teoría, el SBT no requiere calibración porque las mediciones de atenuación están totalmente compensadas, las siguientes consideraciones hacen que la calibración sea un requisito:

#### **15.2.1 Consideraciones para la calibración**

- a) Diferentes sensibilidades direccionales inherentes a la naturaleza del transductor.
- b) Diferentes espaciados de sector debido a las tolerancias mecánicas.

La calibración se logra mediante el cálculo de seis factores de normalización. El factor de normalización es el valor en db/pie que se requiere desplazar cada curva ATC<sub>n</sub> para que concuerde con el promedio de todas las curvas ATC<sub>n</sub> en

un intervalo apreciable. Estos factores de normalización se calculan cada vez que se adquieren datos de un perfil. El intervalo del pozo en el que se corrió el perfilaje para obtener la normalización debe brindar lecturas promedio similares para los seis sectores. Puede tratarse de un intervalo de tubería libre o de tubería adherida. Si embargo, dado que el medio más homogéneo es la tubería libre, se la debe utilizar siempre que sea posible. En circunstancias específicas en las que se advierta un intervalo no consistente o una canalización de cemento sin rotación del instrumento, los factores de normalización pueden resultar cuestionables.

**No se deben utilizar** factores de normalización obtenidos en estas condiciones. La solución más adecuada consiste en emplear factores de normalización obtenidos en una sección más homogénea o en otro pozo, o descartar la normalización.

**El intervalo estándar para el cálculo de factores de normalización es de 1600 muestras (400 pies a 4 muestras por pie o 160 muestras a 1 muestra por dm).**

El ingeniero podrá optar por actualizar los nuevos factores de normalización calculados luego de cada pasada de perfilaje (para su uso en reproducción o en nuevas pasadas de perfilajes), guardarlos en los archivos de calibración para emplearlos en el futuro, o descartarlos. Las magnitudes de corrección típicas son de  $+ 0 - 1$  db/pie. Si los valores superan los 2 db/pie, podría tratarse de un problema potencial, por ejemplo, una descentralización excesiva, una canalización del cemento o un mal funcionamiento del instrumento.

### **15.3 Verificación de los patines**

Las verificaciones de los patines se utilizan únicamente para control de calidad. Los resultados no cumplen una función en la secuencia de perfilaje. Se los realiza con los brazos del instrumento desplegados en el aire libre. De otra manera, los resultados serían erróneos. El instrumento puede colgarse en posición vertical o puede ubicarse en posición horizontal sobre soportes.

La verificación se basa en dos mediciones, niveles de ruido de los receptores y sensibilidades de los patines. Para obtener los niveles de ruido de los receptores, el

instrumento opera en la secuencia estándar de perfilaje. Dado que no existe acoplamiento acústico, el valor esperado (amplitud pico promedio en 10 secuencias de la herramienta) es igual a cero, a menos que exista interferencia eléctrica o ruido. Un valor de <10 es aceptable. La medición de sensibilidad del patín emplea la estructura del patín como acoplamiento acústico entre los transmisores y los receptores. El instrumento se configura de modo de obtener señales de pares de transmisores y receptores de igual número, dado que se encuentran en el mismo patín. Un valor de >50 es aceptable. Este valor es, en gran medida, imprevisible, pero se lo puede emplear como indicador de que tanto el transmisor como el receptor están funcionando en el mismo patín.

Para RB y DEV se utilizan los mismos procedimientos de calibración que en la mayoría de los instrumentos. El objetivo es obtener la respuesta de los acelerómetros X y Y cuando el instrumento se rota en un ángulo fijo. El instrumento debe estar en posición horizontal con los brazos desplegados. Se realizan dos mediciones, una con el patín 2 hacia abajo y otra con el patín 3 hacia abajo. La verificación se realiza de manera similar, con la diferencia de que las mediciones se toman con los seis patines apuntando hacia abajo.

## **16.- SARTA DE HERRAMIENTAS DEL SBT**

El Instrumento de Medición de Sectorización de adherencia de Cemento (SBT) 1424XA debe correrse en combinación con el cartucho acústico común 1633EA. Entre las opciones normales se incluyen el adaptador de VDL 1424PA, un 1309XA de Rayos Gamma, y un CCL 2330XA o 2346XA. También es posible agregar un 2435XA de Neutrón Compensado a la sarta.

*Se deben utilizar procedimientos de conexión vertical.* Ni el 1424XA ni el 1424PA deben izarse a la posición vertical cuando están conectados a toros instrumentos, dado que al hacerlo se podrían provocar daños a esos instrumentos.

Los instrumentos 1309XA de Rayos Gamma y 2435XA de Neutrón Compensado deben incluir fuentes de alimentación de CC. En caso de que hubiera una fuente de alimentación de CA instalada, se la puede reconocer por el capacitor de gran tamaño y color negro que se encuentra en el extremo superior.

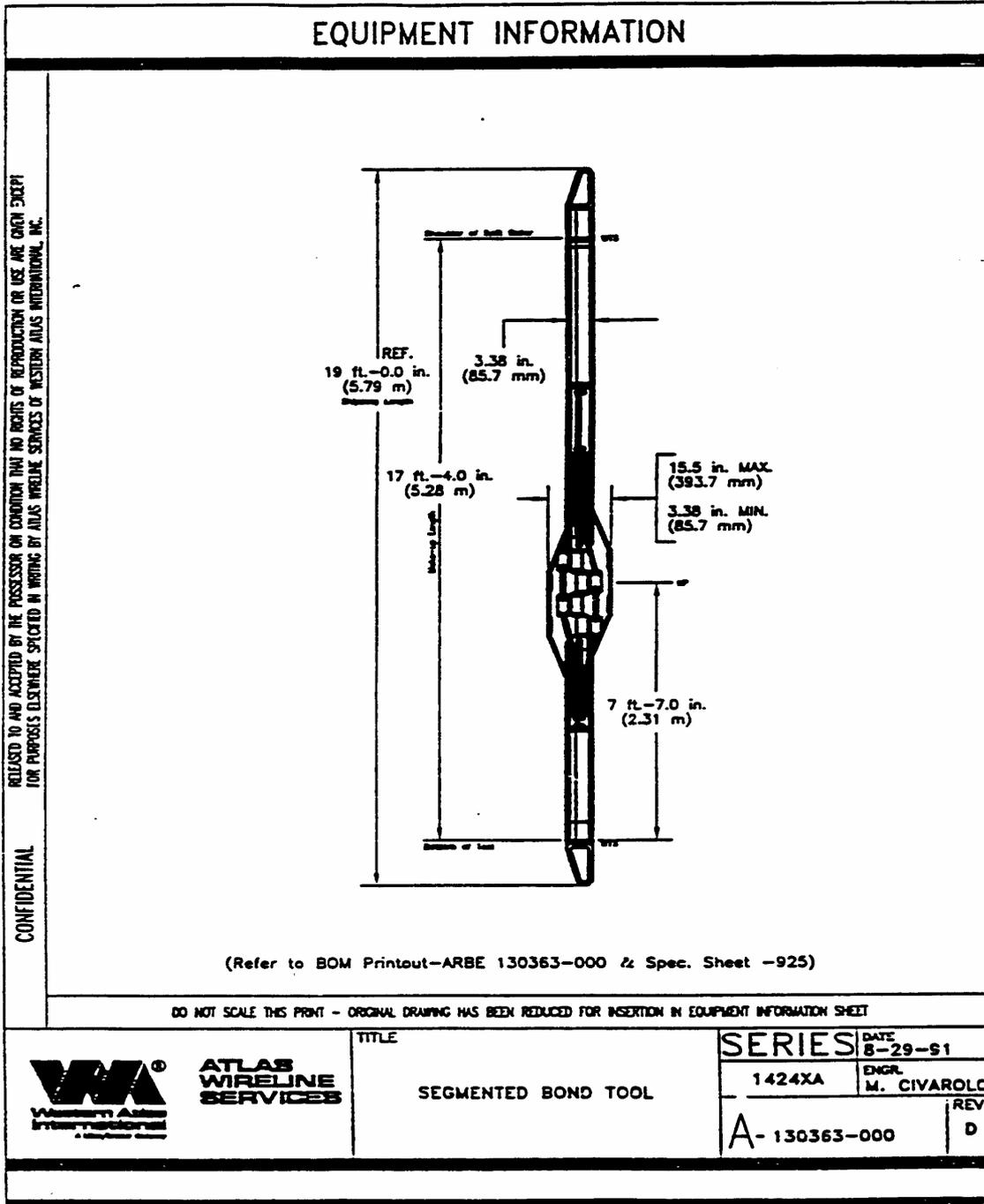
En la siguiente lista se incluyen los instrumentos disponibles en orden descendente desde la cabeza del cable.

| Posición del instrumento | Serie  | Diámetro Externo | Requerimientos de energía   | Posición de switch |
|--------------------------|--------|------------------|---|--------------------|
| CCL                      | 2330XA | 3 5/8"           | Pasivo  | 5                  |
| O                        |        |                  |   |                    |
| CCL                      | 2346XA | 3 5/8"           | Pasivo  | Sw1 – F, Sw2 – 6   |
| GR                       | 1309XA | 3 5/8"           | 30 mA   | Sw1 – 6, Sw2 – +   |
| CN                       | 2435XA | 3 5/8"           | 30 mA   | 2 (PCM)            |
| Común                    | 1633EA | 3 3/8"           | 85 mA   | N/A                |
| SBT                      | 1424XA | 3 3/8"           | 25 mA (ciclado)<br>200 mA (motor abierto)<br>300 mA (motor cerrado) | N/A                |
| VDL                      | 1424PA | 3 3/8"           |   |                    |

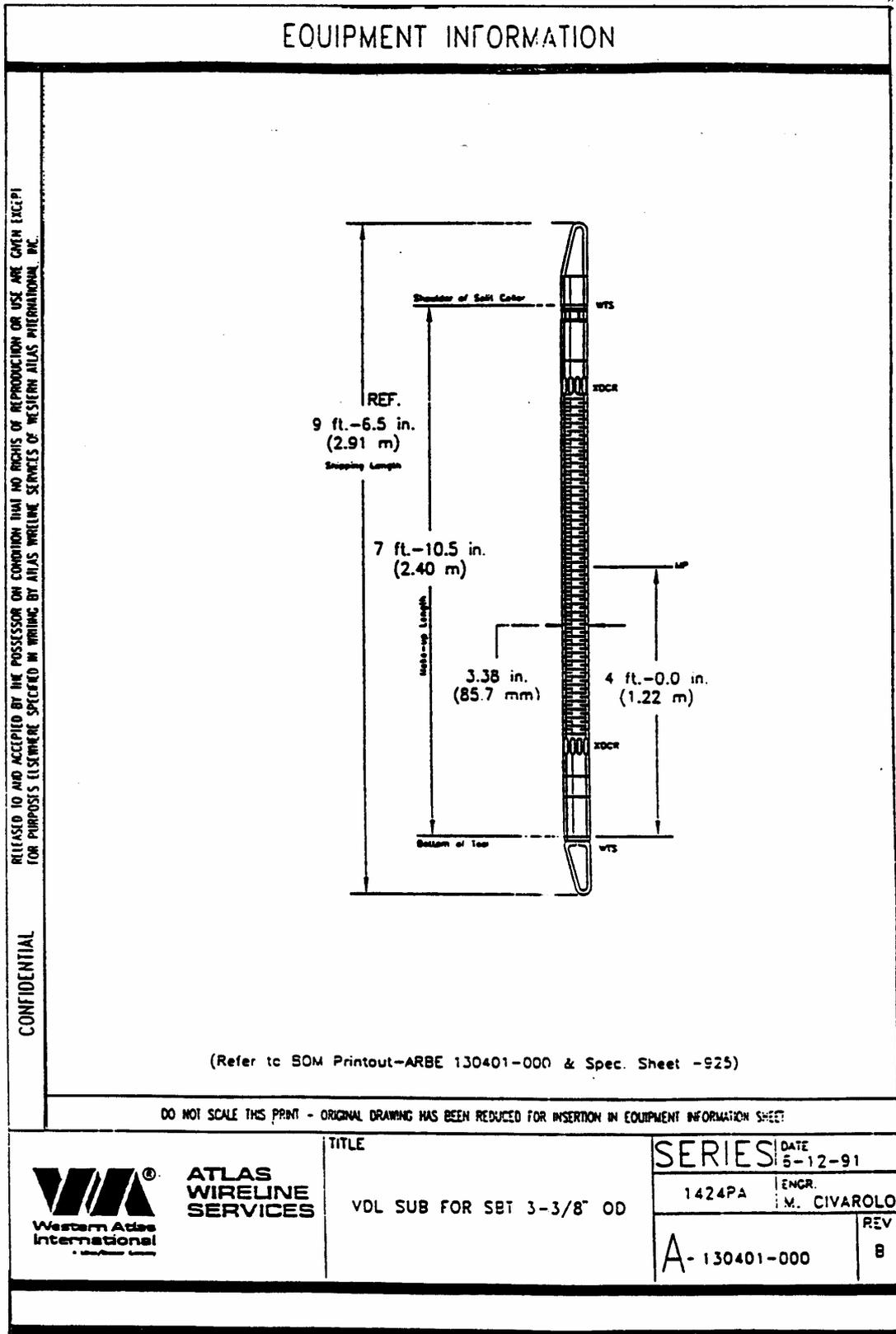
Nota: El voltaje en cabeza de cable debe ser de 150 V DC

# 17.-INFORMACION DE LA HERRAMIENTA

La herramienta SBT mide 19 ft de longitud y 3.38 in de diametro.La seccion de los patines tiene un diametro minimo de 3.38 in y un diametro maximo de 15.5



La herramienta que se muestra a continuación es la del VDL que combina con el SBT ,esta herramienta se ubica en la parte inferior del SBT, tiene una longitud de 9 ft y un diametro de 3.38 in. Consta de un transmisor y un receptor ubicados a una distancia de 5 ft.



**18.-ESPECIFICACIONES DE LA HERRAMIENTA 1424XA SEGMENTED BOND TOOL**

|                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| Temperatura máxima           | 350 F                           |
| Presión máxima               | 20000 PSI                       |
| Mínimo casing ID             | 4.0 in                          |
| Máximo casing ID             | 15.5 in                         |
| Diámetro de la herramienta   | 3.38 in                         |
| Peso Pad Sección             | 240 lbs                         |
| Peso VDL Sección             | 108 lbs                         |
| Máxima velocidad de logging  | Limitada por GR resolucion      |
| Velocidad normal de logging  | 35 ft por minuto                |
| Rango de atenuación medida   | 22 db por pie                   |
| Resolución Vertical          | 0.25 ft                         |
| Resolución Radial            | 60 grados                       |
| Profundidad de investigación | 2 in                            |
| Power Requirement            | 150 voltios DC a 25 miliamperes |
| Wireline Requirement         | Monoconductor                   |
| Detector tipo VDL            | 20 Khz piezo-electric           |
| Pad Force                    | 50 libras                       |

## 19.-ANALISIS DE COSTOS

A continuación se muestra el cuadro de costos de los perfiles, tanto del CBL, como de la tecnología SBT.

### CEMENT EVALUATION SERVICES

| SERVICE <sup>(1)(3)</sup>  | PRODUCT CODE | DEPTH CHARGE ZA01                       |              | LOGGING CHARGE ZA02 |              | OPERATION CHARGE ZA03 |
|--|--------------|---|--------------|---------------------|--------------|-----------------------|
|  |              | \$ PER FOOT                             | \$ PER METER | \$ PER FOOT         | \$ PER METER |                       |
|  |              | Acoustic Cement Bond Log 3 3/8" (86 mm) | CBL-A.100    | 0.86                | 2.82         |                       |
| Acoustic Cement Bond Log, selectable, 3 3/8" (86 mm)             | CBL-B.100    | 0.86                                    | 2.82         | 0.86                | 2.82         |                       |
| Acoustic Cement Bond Log 1 11/16" (43 mm)                        | CBL-C.100    | 1.13                                    | 3.71         | 1.13                | 3.71         |                       |
| Bond Attenuation Log   | BAL-B.100    | 1.06                                    | 3.48         | 1.06                | 3.48         |                       |
| Radial Analysis Bond Log   | RAL-B.100    | 1.25                                    | 4.10         | 1.25                | 4.10         |                       |
| RAL with Cement Map  | RAL-B.200    | 1.25                                    | 4.10         | 2.50                | 8.20         |                       |
| Digital Acoustic Log CBL Mode <sup>(2)</sup>                     | DAL-A.450    | 1.75                                    | 5.74         | 2.63                | 8.63         |                       |
| Multipole Array Acoustilog CBL Mode <sup>(2)</sup>               | MAC-A.450    | 2.29                                    | 7.51         | 3.43                | 11.25        |                       |
| Cross Multipole Array Acoustilog CBL Mode <sup>(2)</sup>         | XMAC-B.450   | 2.48                                    | 8.14         | 4.00                | 13.12        |                       |
| Cross Multipole Array Acoustilog CBL Mode CH - F1 <sup>(3)</sup> | XMAC-D.450   | 3.62                                    | 11.88        | 5.42                | 17.78        |                       |
| <b>Segmented Bond Tool</b>                                       |              |   |              |                     |              |                       |
| Segmented Bond Tool <14" OD (< 356 mm)                           | SBT-B.100    | 1.60                                    | 5.25         | 1.60                | 5.25         |                       |
| Segmented Bond Tool <18" OD (< 457 mm)                           | SBT-B.200    | 2.00                                    | 6.56         | 2.00                | 6.56         | 2,500                 |
| Segmented Bond Tool <24" OD (< 610 mm)                           | SBT-B.300    | 2.15                                    | 7.05         | 2.15                | 7.05         | 3,000                 |

Del cuadro de costos podemos observar que el Acoustic Cement Bond Log CBL-A.100 tiene un Depth Charge de 0.86 y un Logging Charge de 0.86, mientras que un Segmented Bond Tool SBT-B.100 tiene un Depth Charge de 1.60 y un Logging Charge de 1.60

### 19.1 Comparacion de costos CBL vs SBT

Nos basaremos en un ejemplo real:

Se va a perfilar un pozo de 8000 ft de profundidad, asumiendo que se perfilara hasta superficie, vamos a hacer una cotización para realizarlos con un CBL y vamos a realizar otra cotización de realizar el perfilaje con un SBT. Asumiendo que los cargos básicos y de equipo de presión son los mismos

#### Costo con la herramienta CBL

| <u>Herramienta</u>                    | <u>Costo (\$)</u> |
|---------------------------------------|-------------------|
| CBLA100ZA01 X DEPTH 1.60X8000=        | 6880              |
| <u>CBLA100ZA02 X DEPTH 1.60X8000=</u> | <u>6880</u>       |
| TOTAL =                               | 13,760            |

#### Costo con herramienta SBT

| <u>Herramienta</u>                    | <u>Costo (\$)</u> |
|---------------------------------------|-------------------|
| SBTA100ZA01 X DEPTH 0.86X8000=        | 12800             |
| <u>SBTA100ZA02 X DEPTH 0.86X8000=</u> | <u>12800</u>      |
| TOTAL =                               | 25600             |

La diferencia económica es :  $25600 - 13760 = 11840$  \$ que representa el 86.04 % del costo con la cotización original del CBL, es decir la diferencia económica es elevada..

Pero también se tiene que tener en cuenta los gastos de reparación en caso la data de CBL no sea confiable, lo cual aumentaría los costos.

Entonces el CBL es de uso para pozos cuyas predicciones de productividad sean bajas, en caso de tener un pozo exploratorio y se requiera usar de toda la tecnología apropiada podremos usar el SBT.

## 20.-CONCLUSIONES

1. Cuando los Perfiles de Adherencia del Cemento se manejan e interpretan en forma adecuada, brindan respuestas consistentes y confiables.
2. Todo pozo debe diseñarse de manera que se pueda solucionar el problema de los microanillos corriendo el perfil bajo presión.
3. Si se la obtiene con un display apropiado, la curva de Tiempo de tránsito es una excelente herramienta que provee un indicador cuantitativo de la centralización de la herramienta en el interior del pozo.
4. La curva de Tiempo de tránsito se debe manejar con una sensibilidad tal que permita determinar 4 microsegundos con exactitud .
5. La curva de Tiempo de tránsito se debe manejar con un sistema de circuitos con el que se evite el salteo de ciclos hasta amplitudes de 2 milivoltios como mínimo.
6. Es posible lograr un mejor registro de la curva de amplitud de la señal del casing si el espaciado entre transmisor y receptor de la herramienta es de 3 pies con la herramienta CBL.
7. Esta permitido usar herramientas de CBL con espaciado transmisor- receptor de 4 ft para casing menores o iguales a 5.5 in.
8. La curva de amplitud del casing es un indicador consistente y exacto del llenado de cemento en el espacio anular, siempre que se la registre sobre la base de los lineamientos aquí indicados.
9. La señal de amplitud del casing debe registrarse con una precisión de hasta 0,2 milivoltios.
10. Una adecuada selección de las escalas de perfilaje de amplitud de señales de casing mejora la calidad del perfil y facilita la interpretación. Dado que los valores de amplitud pueden oscilar entre un mínimo de 0,2 mV y unos 90 mV o más, resulta deseable utilizar dos escalas de sensibilidad de perfilaje. Se recomienda una escala básica y una amplificada (x5).
11. El display de energía total mejora mucho si se registra un display de tren de ondas en sentido vertical en cada pie con una sensibilidad horizontal de 200 a 1200 microsegundos y una sensibilidad vertical de pico a pico de entre 1,5 y 2,0 centímetros.
12. El display de tren de ondas de la energía total puede emplearse para diferenciar “huellas digitales” de la energía del casing y de la formación.

13. La herramienta Segmented Bond Tool(SBT) ,muestra canalizaciones y microanillos no reconocidas por un CBL convencional
14. El mapeo de Segmend Bond Tool ,siempre debe de ir acompañado en las presentaciones con un VDL
15. Siempre es necesario estar presente en la supervision de la data de los registros de adherencia de cemento tomados insitu en el pozo.
16. A medida que aumenta el diametro del revestimiento,menor amplitud en casing libre y a su vez mayor probabilidad de formacion de un microanillo
17. Las herramientas de evaluacion de cemento han alcanzado un desarrollo muy importante con tecnologia muy sofisticada pero el éxito de su empleo radica en el uso apropiado
18. Para la apropiada interpretacion de un registro de evaluacion de cemento es necesario conocer el escenario completo como:las características del trabajo de cementacion,condiciones de pozos previas como programas,fluidos involucrados ,informe de la ejecucion,etc.A su vez es necesario saber la historia del pozo desde frague de cemento hasta que se corre el registro de cemento.

## 21.-RECOMENDACIONES

1. El Perfil de Adherencia del Cemento(CBL) debe trabajar con una curva de Tiempo de tránsito precisa, con un display preciso de la medición de amplitud de dos curvas y con un display de tren de ondas de energía total registrado en forma vertical cada un pie.
2. El Perfil de Adherencia del Cemento debe registrarse siempre bajo suficiente presión del casing para descartar la presencia de un microanillo.
3. Las “huellas digitales” del casing y de la formación pueden emplearse para lograr eficacia en las interpretaciones de formaciones rápidas.
4. Se deben efectuar displays de tren de ondas cada 1 pie en sentido vertical en lugar de displays de Densidad Variable. Se deben agregar los displays de Densidad Variable si aún se sospecha la presencia de un microanillo.
5. Se deben registrar las señales de Tiempo de tránsito sobre la base de una sensibilidad de 100 microsegundos por pista.
6. Se deben registrar las señales de amplitud empleando una curva estándar y una curva de sensibilidad x5.
7. Los displays de energía total deben efectuarse con una sensibilidad horizontal de 200 a 1200 microsegundos y con una sensibilidad vertical de 1,0 a 2,0 cm de pico a pico.
8. Se recomienda perfilar con SBT en pozos inyectados con lodos a base de gas.
9. Por su bajo costo y buenos resultados ,el CBL puede seguirse usando en campos maduros siempre y cuando se apliquen los criterios de control de calidad y un buen análisis de la interpretación.
10. El SBT es una tecnología desarrollada de perfiles de adherencia de cemento y puede usarse en proyectos grandes ,donde los costos de trabajos de cementacion y reparación sean muy elevados.
11. En caso de pozos horizontales o donde las condiciones de centralización de herramienta sea critica ,se recomienda perfilar con SBT

## **22.-BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Albert, L. E., Standley , T. Comparison of CBL,RBT, and PET in a test Well with Induced Channels,paper presentado en 1987 SPE Annual Technical Conference,Dallas,TX,Sept 27-30
- 2.- Bigelow,E.L ,Practical Approach to the Interpretation of the Cement Bond Log 1985
- 3.- Brown, V.E. Grijalva y LL.Raymer Schlumberger Sureenco-Progresos en la presentacion y analisis del tren de ondas sonicas en pozos entubados
- 4.-Bruckdorfer,R.A.,Jacobs, W.R., and Masson J.P.CBL Evaluation of Foam-Cemented and Synthetic-Cemented Casings ,paper SPE 11980 presentado en 1983 SPE Annual Meeting ,San Francisco
- 5.- Carter, L.G. and Evans,G.W, A Study of Cement Pipe Bonding, JPT-February 1964
- 6.- Cement Evaluation Guidelines –Western Atlas International 1990
- 7.- Dresser Atlas Acoustic Cement Bond Log and Prolog.CBL.Dresser Atlas Publication 1985
- 8.- Pilkington, P.E-New Methods Allow Evaluating Cement from Floating Rig, Oil&Gas J.- December 1990
- 9.-Walker,T-A Full Wave Display of Acoustic Signal in Cased holes-JPT(August 1968)
- 10.- Walker,T-Origin of the W Pattern on Cased hole Micro-Seismogram Logs-The Log Analysis(Abril 1968)